



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**PENGARUH PERBANDINGAN KOMPOSISI PENYUSUN  
POLYURETHANE DAN FRAKSI MASSA SERAT KELAPA  
TERHADAP KOEFISIEN ABSORBSI SUARA DAN  
KEKUATAN LENTUR KOMPOSIT SERAT KELAPA PADA  
APLIKASI MUFFLER**

Rani Legiviani  
NRP 2712 100 086

Dosen Pembimbing :  
Ir. Moh. Farid, DEA  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016





**FINAL PROJECT - TL141584**

**EFFECT COMPARISON OF COMPOSERS  
POLYURETHANE COMPOSITION AND COCONUT FIBER  
MASS FRACTION ON SOUND ABSORPTION  
COEFFICIENT AND FLEXURAL STRENGTH OF  
COCONUT FIBER COMPOSITE IN MUFFLER  
APPLICATION**

Rani Legiviani  
NRP 2712 100 086

Advisor Lecturer :  
Ir. Moh. Farid, DEA  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016



**PENGARUH PERBANDINGAN KOMPOSISI PENYUSUN  
POLYURETHANE DAN FRAKSI MASSA SERAT KELAPA  
TERHADAP KOEFISIEN ABSORBSI SUARA DAN KEKUATAN  
LENTUR KOMPOSIT SERAT KELAPA PADA APLIKASI  
MUFFLER**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat**

**Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Material Inovatif**

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**RANI LEGIVIANI**

**NRP. 2712100086**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Moh. Farid, S.T., M.T., Ph.D. .... (Pembimbing 1)
2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. .... (Pembimbing 2)



**SURABAYA**

**JULI 2016**

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas berkat dan kasih yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang berjudul : **Pengaruh Perbandingan Komposisi Penyusun Polyurethane dan Fraksi Massa Serat Kelapa Terhadap Koefisien Absorpsi Suara Dan Kekuatan Lentur Komposit Serat Kelapa Pada Aplikasi Muffler**

Pada kesempatan kali ini penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku Bapak Afrizal dan Ibu Afiah atas semua dukungan moril dan materiil yang selalu dicurahkan.
2. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
3. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T.,M.T. selaku dosen Pembimbing.
4. Dr. Agung Purniawan, S.T., M. Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Pak Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen wali yang sangat mengayomi.
6. Pak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku Dosen yang selalu memberikan ilmu dan diskusi yang prima.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
8. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Amin.

Surabaya, Juni 2016

Rani Legiviani

**PENGARUH PERBANDINGAN KOMPOSISI PENYUSUN  
POLYURETHANE DAN FRAKSI MASSA SERAT  
KELAPA TERHADAP KOEFISIEN ABSORPSI SUARA  
DAN KEKUATAN LENTUR KOMPOSIT SERAT KELAPA  
PADA APLIKASI MUFFLER**

**Nama** : Rani Legiviani  
**NRP** : 2712100086  
**Jurusan** : Teknik Material & Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Moh. Farid, DEA  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

**Abstrak**

*Suara keras yang dihasilkan dari engine yang disalurkan lewat knalpot dapat membuat kebisingan lingkungan. Cara mengurangi kebisingan tersebut adalah dengan muffler. Muffler berfungsi mengurangi jumlah suara yang dipancarkan oleh knalpot dari pembakaran internal mesin. Muffler terdiri dari dua bagian yaitu tabung berlubang dan sound absorption materials. sound absorption materials yang biasa digunakan untuk muffler adalah glasswool namun glasswool tidak baik untuk lingkungan. Bahan komposit berbahan dasar matriks serat selabut kelapa merupakan sebuah alternatif material peredam akustik yang ramah lingkungan karena memanfaatkan material limbah pertanian. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah pengaruh komposisi penyusun polyurethane ( polyol dan isocyanate) serta fraksi berat serat. Dari hasil SEM didapat bahwa penambahan serat mengecilkan pori komposit polyurethane. Hasil uji koefisien absorpsi suara didapat koefisien absorpsi terbesar dari PU(50PPI:50PPG)-5% Serat sebesar 0.444 pada frekuensi 2000Hz. Hasil Bending menunjukkan kekuatan bending tertinggi dicapai oleh PU(50PPPI:50PPG) murni sebesar 14.79 MPa dan hasil densitas menunjukkan densitas tertinggi dicapai oleh PU (40PPI:60PPG)-7.5% Serat kelapa*

**Kata Kunci:** *Sound Absorption Material, Automotive, Muffler, Serat kelapa, Polyurethane, komposit.*



*(Halaman sengaja dikosongkan)*

**EFFECT COMPARISON OF COMPOSERS  
POLYURETHANE COMPOSITION AND COCONUT  
FIBER MASS FRACTION ON SOUND ABSORPTION  
COEFFICIENT AND FLEXURAL STRENGTH OF  
COCONUT FIBER COMPOSITE IN MUFFLER  
APPLICATION**

**Name** : *Rani Legiviani*  
**SRN** : *2712100086*  
**Major** : *Material and Metallurgical Engineering Dept*  
**Advisor** : *Ir. Moh. Farid, DEA*  
**Co-Advisor** : *Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T*

**Abstract**

*A loud noise generated from the engine is channeled through the exhaust can make a noisy environment. To reduce the noise used muffler. Muffler serves to reduce the amount of noise emitted by the exhaust of internal combustion engines. Muffler consists of two parts, the hollow tubes and sound absorption materials. Glass wool is commonly used as sound absorption materials, but glass wool is not good for the environment. Matrix composite material made from coconut fiber selabut is an alternative acoustic absorbing materials that are environmentally friendly because it uses agricultural waste material. Variables used in this study was the effect of the composition polyurethane composition (polyol and isocyanate) and the weight fraction of coir fiber. From the result of SEM found that the addition of polyurethane fiber composite shrink pores. The result of the absorption coefficient of sound absorption coefficient obtained the largest of PU (50PPI: 50PPG) -5% fiber by 0.444 at a frequency of 2000Hz. Bending results showed the highest bending strength achieved by pure PU (50PPPI: 50PPG) of 14.79 MPa and density results show the highest density achieved by PU (40PPI: 60PPG) -7.5% coconut fiber,*

**Keywords:** : *Sound Absorption Material, Automotive, Muffler, Coir fiber, Polyurethane, Composite*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>TITLE .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Permasalahan .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Tujuan .....	4
1.5. Manfaat .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Material Komposit .....	7
2.2. Klasifikasi Material Komposit. ....	8
2.3. Komposit Serat .....	10
2.4 Matriks Polymer .....	12
2.5 Serat Sabut Kelapa .....	13
2.6 Matriks Polyurethane .....	16
2.7 Gelombang dan Bunyi .....	19
2.8 Kebisingan .....	22
2.9 Material Akustik .....	24
2.10 Material Penyerap Suara .....	25
2.11 Muffler .....	32
2.12 Penelitian Terdahulu .....	35
<b>BAB III METODOLOGI</b>	
3.1. Metode Penelitian .....	41
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian .....	42
3.2.1 Bahan Penelitian .....	42

3.2.2 Peralatan Penelitian .....	43
3.3. Variabel Penelitian .....	45
3.4. Rancangan Penelitian .....	45
3.5 Metode Penelitian .....	46
3.5.1 Persiapan Bahan .....	46
3.5.1.1 Pengolahan Serat Kelapa .....	46
3.5.1.2 Pengolahan Matriks Polyurethane .....	47
3.5.1.3 Pembuatan Cetakan .....	47
3.5.1.4 Pembuatan Komposit .....	47
3.5.2 Proses Pengujian .....	48
3.5.2.1 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara .....	48
3.5.2.1 Pengujian SEM .....	49
3.5.2.3 Pengujian Kelenturan .....	50
3.5.2.4 Uji FTIR .....	51
3.5.2.5 Densitas .....	51
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Komposit Polyurethane Berpenguat Serat Kelapa .....	53
4.2. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) .....	56
4.2.1 Analisa Hasil FTIR Serat Kelapa Alkali .....	56
4.2.2 Analisa Hasil FTIR Polyurethane .....	58
4.2.4 Analisa Hasil FTIR Komposit Serat Kelapa Alkali .....	61
4.3. Scanning Electron Microscope (SEM) .....	63
4.4 Koefisien Absorpsi Suara .....	66
4.5 Uji Bending .....	70
4.6 Densitas .....	73
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
V.1. Kesimpulan .....	77
V.2. Saran .....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	xix
<b>LAMPIRAN</b> .....	xxv
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	xxxvii

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Keuntungan dan Kerugian Material Komposit .....	7
<b>Tabel 2.2</b> Sifat-Sifat Polyurethane .....	19
<b>Tabel 2.3</b> Tingkat Kebisingan Rata-Rata Diukur dari Beberapa Jarak (Hemond Jr, Conrad J, 1983) .....	20
<b>Tabel 2.4</b> Koefisien Absorpsi dari Material Akustik (Doelle, Leslie L, 1993) .....	27
<b>Tabel 2.5</b> Nilai Koefisien Serap Beberapa Jenis Produk (Priesma, 2012) .....	28
<b>Tabel 2.4</b> Kelebihan dan Kekurangan Muffler Absorptif (Engineering Acoustic, 2002) .....	34
<b>Tabel 2.6</b> Penelitian Terdahulu .....	35
<b>Tabel 3.1</b> Rancangan Penelitian .....	45
<b>Tabel 4.1</b> Daerah Serapan Infra Merah Serat Kelapa Alkalisasi .....	57
<b>Tabel 4.2</b> Daerah Serapan Infra Merah Polyurethane A .....	59
<b>Tabel 4.3</b> Daerah Serapan Infra Merah Polyurethane B .....	60
<b>Tabel 4.4</b> Daerah Serapan Infra Merah Polyurethane Murni .....	61
<b>Tabel 4.5</b> Daerah Serapan Infra Merah Komposit Serat Kelapa .....	63
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Pengujian Absorpsi Suara .....	67
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Pengujian Kekuatan Lentur PU (40PPI:60PPG) .....	71
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Pengujian Kekuatan Lentur PU (50PPI:50PPG) .....	71
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Uji Densitas .....	74

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Klasifikasi Material Komposit (William D. Callister, 8 <sup>th</sup> Edition) .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Klasifikasi Material Komposit berdasarkan matrik (William D. Callister, 8th Edition) .....	9
<b>Gambar 2.3</b> <i>Fibrous Composite</i> (Gay, 2003).....	10
<b>Gambar 2.4</b> Serabut Kelapa .....	14
<b>Gambar 2.5</b> Uji Komposisi Serat Sabut Kelapa (Sunaryo, 2008).....	10
<b>Gambar 2.6</b> Struktur Kimia pada Selulosa dan Lignin (Chen H, 2014).....	15
<b>Gambar 2.7</b> Skema Komponen serat kelapa .....	16
<b>Gambar 2.8</b> Reaksi Polyurethane.....	18
<b>Gambar 2.9.</b> Blok Polyurethane (D. Klemptner and V. Sendjarevic, 2004).....	18
<b>Gambar 2.10</b> Jenis Material Berongga (D. Klemptner dan V. Sendjarevic, 2004).....	19
<b>Gambar 2.11</b> Gelombang Bunyi (Longitudinal) .....	21
<b>Gambar 2.12</b> Kurva Zona Frekuensi Material Penyerap Berpori (Howard dan Angus, 2009) .....	26
<b>Gambar 2.13</b> Kurva Zona Frekuensi Material Penyerap Resonant (Howard dan Angus, 2009) .....	27
<b>Gambar 2.14</b> Kurva Zona Frekuensi Material Penyerap Helmholtz (Howard dan Angus, 2009).....	28
<b>Gambar 2.15</b> Kurva Zona Frekuensi Material Penyerap Wideband (Howard dan Angus, 2009).....	29
<b>Gambar 2.16</b> <i>Muffler Absorptif</i> .....	30
<b>Gambar 2.17</b> <i>Muffler Reaktif</i> .....	31
<b>Gambar 2.18</b> Tiga Tipe Utama Material Penyerap Suara Berpori (Jorge P. Arenas dan Malcolm J. Crocker, 2010).....	33
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	21
<b>Gambar 3.2</b> Serabut Kelapa .....	22
<b>Gambar 3.3</b> Air. ....	22
<b>Gambar 3.4</b> NaOH .....	22
<b>Gambar 3.5</b> Isocyanate.....	23



<b>Gambar 3.6</b> Polyol .....	23
<b>Gambar 3.7</b> Mesin Sieving .....	24
<b>Gambar 3.8</b> Proses Blending Pembuatan Komposit .....	48
<b>Gambar 3.9</b> Dimensi Spesimen Uji Absorbsi Suara .....	49
<b>Gambar 3.10</b> Dimensi Spesimen SEM .....	50
<b>Gambar 3.11</b> Prinsip Kerja SEM .....	50
<b>Gambar 3.12</b> Dimensi Uji Kelenturan .....	51
<b>Gambar 4.1</b> Spesimen Uji Absorbsi Suara .....	54
<b>Gambar 4.2</b> Spesimen Uji Bending .....	55
<b>Gambar 4.3</b> Spesimen uji SEM untuk PU (40PPI:60PPG), PU (50PPI:50PPG), PU (40PPI:60PPG)-7.5%K, PU (50PPI:50PPG)-7.5%K.....	55
<b>Gambar 4.5</b> Hasil Uji FTIR Serat Kelapa Alkali .....	57
<b>Gambar 4.6</b> Struktur kimia lignin dan selulosa (Chen H. 2014).....	58
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Uji FTIR polyurethane.....	59
<b>Gambar 4.8</b> Struktur kimia PolyPhenyl Isocyanate .....	60
<b>Gambar 4.9</b> Struktur kimia polyurethane murni .....	61
<b>Gambar 4.10</b> Perbandingan hasil uji FTIR komposit serat kelapa dan polyurethane murni.....	62
<b>Gambar 4.11</b> Hasil Uji SEM (a) PU (40PPI:60PPG), (b) PU (50PPI:50PPG) (c)Komposit PU (40PPI:60PPG)-7.5%K (d) Komposit PU (50PPI:50PPG)-7.5%K.....	64
<b>Gambar 4.12</b> Hasil SEM (a) PU (40:PPI:60PPG) dan (b) PU (40:PPI:60PPG)-7.5%K dengan perbesaran 250x.....	65
<b>Gambar 4.13</b> Hasil SEM (a) PU (50PPI:50PPG) dan (b) komposit PU (50PPI:50PPG)-7.5%K dengan perbesaran 250x..	66
<b>Gambar 4.14</b> Hasil Uji Absorbsi Suara ( $\alpha$ ).....	68
<b>Gambar 4.15</b> Koefisien Absorbsi pada 2000Hz.....	70
<b>Gambar 4.16</b> Hasil Uji Bending.....	73
<b>Gambar 4.17</b> Perbandingan densitas PU (40PPI:60PPG) dan PU (50PPI:50PPG) .....	75

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Dari hasil dan analisis data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan:

1. Frekuensi absorptif muffler berkisar pada 2000-6000Hz. Absorpsi komposit terbaik dicapai oleh PU (50PPG:50PPI)-5%K sebesar 0.444 pada frekuensi 2000Hz.
2. Dari hasil FTIR terlihat bahwa proses alkalisasi berhasil memisahkan lignin dari selulosa. Polyurethane dan serat kelapa membentuk suatu komposit dan tidak membentuk senyawa.
3. Polyurethane yang terbentuk menghasilkan closed-cell bersifat kaku. Pertambahan serat mempengaruhi struktur pori polyurethane menjadi lebih kecil dan tidak beraturan. Pori yang mengecil meningkatkan densitas dari komposit PU. Densitas tertinggi dicapai oleh PU (50PPI:50PPG)-7.5% K sebesar  $0.14 \pm 0.0099 \text{ gr/cm}^3$
4. Pertambahan serat menaikkan densitas dan sifat mekanik dari komposit PU-Kelapa. kekuatan lentur tertinggi dicapai oleh PU (40PPI:60PPG)-7.5% K sebesar  $0.468 \pm 0 \text{ MPa}$ .
5. Komposit serat kelapa yang sesuai untuk aplikasi muffler adalah PU (40PPI:60PPG) dengan kekuatan lentur  $0.402 \pm 0.01 \text{ MPa}$  dan nilai koefisien absorpsi suara 0.424

#### **V.2. Saran**

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai material penyerap dengan sifat berpori
2. Perlu ditambahkan coupling agent agar ikatan antara matriks dan fiber lebih kuat
3. Perlu diperhatikan pemilihan komposisi penyusun polyurethane agar material yang dihasilkan memiliki hasil yang konsisten.

*(Halaman Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Autar, K. Kaw., 2006. *Mechanics of Composite Materials*, University of South Florida, Tampa. Taylor & Francis Group, hal 2.
- Budiyanto, Cahyo. 2009. *Thermoplastik dalam Dunia Industri*. Yogyakarta : Teknika Medika
- Callister Jr, William D, 2009. *Materials Science And Engineering An Introduction, 8th Edition*, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken
- Chen Wen Shan, 2012. *Study of Flexible Polyurethane Foams Reinforced with Coir Fiber and Tyre Particles*. Malaysia : UTHM
- Chung, Deborah D.L, 2010. *Composite Materials*. Springer : London Dordrecht Heidelberg
- D. Klempner and V. Sendijarevic, *Polymeric Foams and Foam Technology*, 2nd ed., Munich: Hanser, 2004.
- Gay, D., Hoa, S.V., Tsai, S.W., 2003. *Composite Material: Design and Applications*, pen. CRC, Canada
- GNU Documentation. 2002. *Engineering Acoustics*. Free Software Foundation, Inc : USA

Howard dan Angus, 2009. *Accoustics and Psychoacoustics* 4<sup>th</sup> Edition. Burlington: Oxford

Ji Z. *Acoustic Attenuation Performance of a Multi-chamber Muffler with Selective Sound-absorbing Material Placement*. SAE International. 200701-2202.

Jorge P. Arenas and Malcolm J. Crocker , 2010. *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials* , University Austral of Chile, Valdivia, Chile and, Auburn University, Auburn, Alabama, Sound and Vibration.

L. Ting, M. LiangLiang, L. Fuwei, J. Wuzhou, H. Zhaobo and F. Pengfei, "*Preparation, Structure, and Properties of Flexible Polyurethane Foams Filled with Fumed Silica*," Journal of Natural Sciences, vol. 16, no. 1, pp. 029-032, 2011.

M. Farid, T. Heryanto. 2013. *Correlation of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (NAC) and Random incidence Sound Absorption Coefficient (RAC) of Polyester/Ramie Fibre Composite Materials*. Advanced Material Research. Vol. 789, pp.269-273

M. Farid, H. Ardhyanta, V.M.Pратиwi, S.P Wulandari. 2015. *Correlation between Frequency and Sound Absorption Coefficient of Polymer Reinforced Natural Fibre*. Advanced Materials Research, Vol. 1112, pp. 329-332.

- Mr. Jigar H. Chaudhri et al. *Int. Journal of Engineering Research and Applications* www.ijera.com ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 1( Version 2), January 2014, pp.220-223
- Rahman, M. et al. 2005. *Design and Construction of Muffler for Engine Exhaust Noise Reduction*. Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering
- S. Mahzan, dkk. 2012. *Study on Sound Absorption Properties of Coconut Fibre Reinforced Composite with Added Recycled Rubber*. International Journal of Integrated Science, pp. 29-34
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya
- Sunaryo. 2008. *Karakteristik Komposit Termoplastik Polipropilena dengan Serat Sabut kelapa Sebagai Pengganti Bahan Palet Kayu*. Thesis. Universitas Sumatera Utara
- Tyler W. Le Roy. 2011. *Muffler Characterization With Implementation of The Finite Element Method and Experimental Techniques*, Michigan Technological University.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Rani Legiviani dilahirkan di Lebak pada tanggal 7 April 1995. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara, dan telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Multatuli, SMPN 1 Rangkasbitung dan SMAN Cahaya Madani Banten Boarding School. Setelah lulus dari SMA, penulis mengikuti tes SNMPTN dan diterima sebagai Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2012. Penulis melanjutkan studi di

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS dengan nomor registrasi pokok 2712 100 086. Penulis juga aktif di kegiatan kemahasiswaan sebagai kepala divisi event Unit Kerja Khusus HMMT FTI ITS.

Selesaiannya tugas akhir ini mengantarkan penulis memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya.

Email : [rlegiviani@gmail.com](mailto:rlegiviani@gmail.com)



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini bidang automotif merupakan bidang yang mengalami perkembangan sangat pesat. Pada tahun 2015 ini OCIA, organisasi yang mewadahi informasi dan statistik automotif *manufacturing* mencatat sebanyak 45,602,805 mobil diproduksi dan dipasarkan di seluruh dunia. Perkembangan produksi automotif itu pula harus diimbangi dengan kesadaran akan lingkungan dengan memproduksi automotif yang ramah lingkungan. Artinya gas dan suara yang dihasilkan automotif tidak mengganggu lingkungan.

Menurut data dari Organisasi kesehatan WHO, sebanyak 40% populasi di Eropa mengalami kebisingan di jalan raya melebihi 55 dB(A), sebanyak 20 % mengalami kebisingan disiang hari sebesar 65 dB(A) dan lebih dari 30% mengalami kebisingan di malam hari melebihi 55 dB(A). Suara bising akan mengganggu konsentrasi dan meningkatkan tekanan darah. Selain itu dapat mengganggu kesehatan dan menurunkan kinerja manusia. Selain itu, menurut Chandra (2007) dalam Harnita (1995) Telinga manusia hanya mampu menangkap suara yang ukuran intensitasnya 80 dB (batas aman) dan dengan frekuensi suara bekisar antara 20-20.000Hz. Lebar responden telinga manusia diantara 0 dB-140 dB yang dapat didengar. Dan batas intensitas suara tertinggi adalah 140 dB dimana untuk mendengarkan suara itu sudah timbul perasaan sakit pada alat pendengaran. Dalam hal ini, pemerintah dan badan keselamatan lingkungan dunia menetapkan aturan perundang-undangan polusi kebisingan. Dasar pendukung perundang-undangan Peraturan Menteri lingkungan hidup no 7 tahun 2009 tentang ambang batas kebisingan kendaraan bermotor menyatakan bahwa kendaraan bermotor memiliki ambang batas kebisingan rata-rata 80 dB

Suara keras yang dihasilkan dari *engine* yang disalurkan lewat knalpot juga dapat membuat kebisingan lingkungan. Salah satu

cara untuk mengurangi kebisingan akibat suara keras tersebut adalah dengan *muffler*. *Muffler* (dikenal juga dengan *Silencer*) adalah tabung peredam yang berada di knalpot motor/mobil. *Muffler* ini berfungsi untuk mengurangi jumlah suara yang dipancarkan oleh knalpot dari pembakaran internal mesin. *Muffler* mengandung dua bagian yaitu tabung berlubang dan *sound absorption materials*.

Menurut Jorge P. Arenas dan Malcolm J Crocker, *sound absorbing materials* berfungsi menyerap sebagian besar energi suara sehingga berguna untuk mengontrol kebisingan. Telah banyak komposit *sound absorption material* yang dibuat dari serat sintetis. Namun penggunaan serat sintetis pada komposit PU memiliki beberapa kelemahan diantaranya harganya mahal, sulit terdegradasi serta tidak dapat diperbaharui. Sementara biodegradability dan low cost sangat dibutuhkan didunia penelitian (Demir, 2006). Selain itu pada proses manufacture glasswool menghasilkan sulfur oksida(SO<sub>x</sub>), (EMEP/EEA Emission, 2013) dan Nitrous Oksida (NO<sub>x</sub>) ( Oleh Karena itu baru-baru ini banyak dikembangkan serat natural untuk mengatasi permasalahan tersebut. Serat natural bersifat lebih ramah lingkungan dan aman untuk kesehatan manusia.

Serat natural yang sering digunakan untuk bahan absorpsi suara diantaranya serat rami, serat kapuk, serat bambu yang memiliki koefisien absorpsi yang cukup bagus. Farid dan Heryanto (2013) menunjukkan adanya kinerja penyerapan suara material komposit berbasis serat rami dalam ruangan mencapai 99% dan hanya 1% energy suara yang direfleksikan pada frekuensi 1255Hz. Selain itu Farid, dkk (2015) mendapatkan kenaikan secara signifikan, nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 125 Hz untuk material polyester berpenguat serat rami dan pada frekuensi menengah 1000 Hz untuk material polyester berpenguat serat bamboo. Dari penelitian Putra (2012) didapat bahwa penggunaan serat ampas tebu dapat digunakan sebagai sound absorption material. Efek dari komposisi matriks dan densitas fiber dapat meningkatkan koefisien absorpsi komposit menjadi 0.65 pada

frekuensi 1.2 - 4.5 kHz. Namun pada umumnya serat tersebut diaplikasikan pada *interior* bangunan. Atas dasar itulah perlu dikembangkan komposit serat natural pada aplikasi yang lebih luas seperti pada bidangomotif.

Salah satu serat yang juga memiliki koefisien absorpsi suara yang cukup tinggi adalah serat kelapa. Dari penelitian yohana maya dkk (2012) didapat bahwa dengan perbandingan komposisi serat : resin sebesar 1:1, 2:1, 3:1, 3:2, 5:3 memiliki nilai  $\alpha$  maksimum masing-masing 0.906, 0.921, 0.813, 0.845, dan 0.94. Nilai tersebut sangat bagus untuk menjadikan serat kelapa sebagai bahan penyerap suara terutama untuk aplikasi dibidangomotif khususnya muffler. Selain itu pula, pada penelitian Chan, Idris dan Ghazali (2012) didapat temperature dekomposisi dari serat kelapa mencapai 250° C. Temperatur tersebut masih dapat menjangkau temperature gas buang di bagian muffler sebesar 143° C (Deftya, 2013).

Sementara itu, material penyerap suara yang baik memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang tinggi. Hal tersebut dapat tercapai jika material memiliki struktur berpori sehingga gelombang suara dapat diserap dan berkurang kebisingannya. Salah satu matriks yang memiliki struktur berpori adalah *polyurethane*. Polyurethane merupakan polimer berbentuk *foam* yang mudah dibuat dan berlimpah. Oleh karena itu perlu dikaji lebih lanjut mengenai pengaplikasian serabut kelapa dengan matriks *polyurethane* sebagai komposit penyerap suara pada *muffler*.

Dengan pembuatan komposit untuk sound absorption material menggunakan komposit serat kelapa dan matriks *polyurethane* diharapkan nantinya tercipta material *sound absorption* untuk komponen *muffler* yang memiliki kemampuan absorpsi yang tinggi dengan harga yang murah dan ramah lingkungan.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas sebelumnya, perumusan masalah yang akan diidentifikasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh komposisi penyusun matriks *polyurethane* dan fraksi berat komposit serat kelapa terhadap nilai koefisien absorpsi suara pada *muffler*?
2. Bagaimana pengaruh proses alkalisasi terhadap serat kelapa dan pengaruh penyusun terhadap proses pembentukan *polyurethane*?
3. Bagaimana pengaruh komposisi penyusun matriks *polyurethane* dan fraksi berat komposit serat kelapa terhadap morfologi dan densitas komposit untuk aplikasi *muffler*?
4. Bagaimana pengaruh komposisi penyusun matriks *polyurethane* dan fraksi berat komposit serat kelapa terhadap kekuatan bending komposit untuk aplikasi *muffler*?
5. Fraksi massa dan perbandingan komposisi *polyurethane* mana yang sesuai untuk aplikasi *muffler*?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian digunakan untuk mengasumsikan parameter konstanta yang pengaruhnya dianggap sangat kecil bagi proses penelitian ini sehingga dapat diabaikan. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Pengotor pada saat penelitian dianggap tidak ada
2. Kadar uap air serta gas yang ada pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh

Penelitian hanya dibatasi pada pembuatan material sound absorption dan karakteristik material produk untuk *muffler* dan tidak memperhatikan system *muffler* secara keseluruhan.

## 1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa pengaruh komposisi penyusun matriks *polyurethane* dan fraksi berat komposit serat kelapa terhadap nilai koefisien absorpsi suara pada *muffler*?
2. Menganalisa pengaruh proses alkalisasi terhadap serat kelapa dan pengaruh penyusun terhadap proses pembentukan *polyurethane*.
3. Menganalisa pengaruh komposisi penyusun *polyurethane* dan fraksi berat komposit serat kelapa terhadap morfologi dan densitas komposit untuk aplikasi *muffler*.
4. Menganalisa pengaruh komposisi penyusun *polyurethane* dan fraksi berat komposit serat kelapa terhadap kekuatan bending komposit untuk aplikasi *muffler*
5. Mengetahui fraksi massa dan perbandingan komposisi penyusun *polyurethane* yang sesuai untuk aplikasi *muffler*.

## 1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menciptakan produk komposit baru dengan menggunakan serat kelapa dan polymer *polyurtehane* untuk bahan dasar material penyerap suara pada *muffler*
2. Memanfaatkan limbah organik yang ada sehingga dapat memberikan nilai guna lebih
3. Memberikan alternative material di masa yang akan datang dengan memanfaatkan sumber daya alam disekitar.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Material Komposit

Material komposit adalah material yang memiliki banyak fasa yang didapatkan melalui kombinasi buatan dari material berbeda dalam rangka untuk mendapatkan properties gabungan dari kedua material berbeda tersebut. Multifasa yang terjadi pada material komposit bukan terjadi secara natural melalui reaksi, transformasi fasa dan sebagainya. Material komposit berbeda dengan material paduan. Material paduan adalah material yang dibentuk dari dua komponen atau lebih yang terbentuk secara natural dengan proses casting. (Chung, 2010)

Berdasarkan definisi, komposit atau materi komposit merupakan suatu materi yang tersusun atas lebih dari dua elemen penyusunnya. Komposit bersifat homogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing masing memiliki sifat yang berbeda, dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan keinginan (Krevelen, 1994).

Pada umumnya dalam proses pembuatannya melalui pencampuran yang homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Komposit merupakan gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat (Mehta, 1986).

Material komposit memiliki banyak keuntungan dan juga kerugian seperti ditunjukkan pada tabel dibawah ini

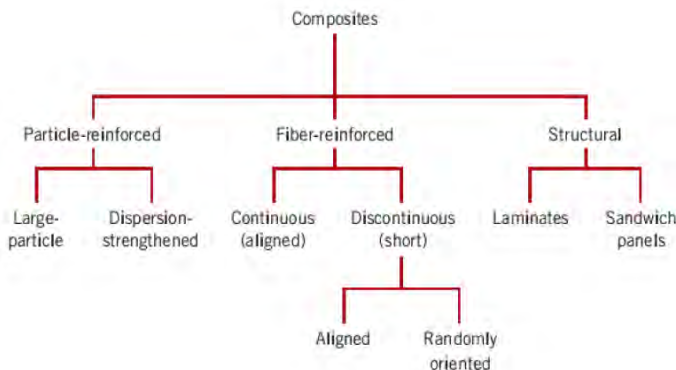
**Tabel 2.1** Keuntungan dan Kerugian Material Komposit

Keuntungan	Kerugian
Berat Berkurang	Tidak efisien biaya dan waktu untuk fabrikasi

Kekuatan dan kekakuan dapat beradaptasi tergantung pembebanan	Sifat bidang bidang akan melemah
Biaya manufaktur rendah	Kelemahan matriks, kekerasan rendah
Konduktivitas listrik atau thermal dapat meningkat atau menurun	Matriks akan mengakibatkan degradasi lingkungan
Tahan terhadap korosi	Sulit dalam mengikat
Kehilangan sebagian sifat dasar material	Analisa sifat mekanik dan fisik sulit dilakukan

## 2.2 Klasifikasi Material Komposit

Skema Material komposit memiliki beragam jenis berdasarkan macam-macam aspek. Secara umum, skema klasifikasi komposit adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dibawah ini.



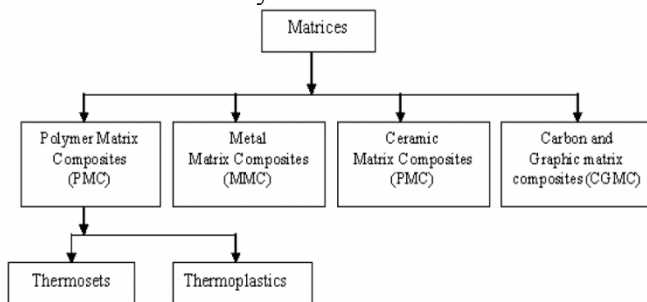
**Gambar 2.1** Klasifikasi Material Komposit (William D Callister, Jr. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Edisi 8)

Jenis-jenis material komposit berdasarkan jenis penguatnya dibagi menjadi 3, yaitu



1. Komposit serat, yaitu komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang difabrikasi, misalnya serat + resin sebagai perekat
2. Komposit berlapis (laminated composite), merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus. Contohnya polywood, laminated glass yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya
3. Komposit partikel (particulate composite), yaitu komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton (Van Vlack, 1985)

Komposit ditentukan tidak hanya berdasarkan penguat saja namun juga dipengaruhi oleh matriks yang digunakan. Pada **Gambar 2.2** menunjukkan klasifikasi komposit berdasarkan matriksnya.



**Gambar 2.2** Klasifikasi Komposit berdasarkan Matriks.

Berdasarkan Gambar 2.2 diatas, komposit dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

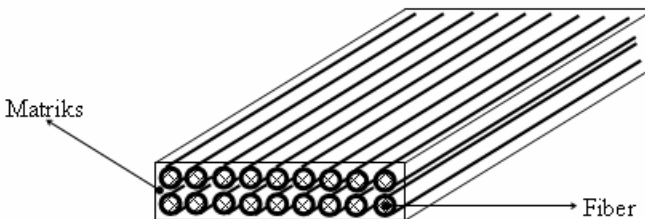
1. *Metal matrix composites (MMC)* yaitu komposit yang menggunakan matriks logam.

2. *Ceramic matrix composites (CMC)* yaitu komposit yang menggunakan matriks keramik

*Polymer matrix composites (PMC)* yaitu komposit yang menggunakan matriks polimer. Polimer menjadi material yang cukup ideal karena dapat diproses dengan mudah, ringan dan memiliki *properties* mekanik yang banyak diinginkan. Terdapat dua jenis polimer yaitu thermoset dan termoplastik. Thermoset memiliki keunggulan seperti memiliki ikatan yang baik untuk struktur molekul tiga dimensi setelah proses *curing* dan juga mengalami dekomposisi dan tidak meleleh ketika dilakukan *hardening*. Sementara termoplastik memiliki satu atau dua struktu molekul dimensi dan cenderung memiliki temperatur kerja yang tinggi dan titik lebur yang tinggi. Keunggulan termoplastik adalah bahwa pada saat temperatur dinaikkan terjadi proses *softening* dan dapat kembali kebentuk semula ketika didinginkan. (Feldman dan Hartomo, 1995)

### 2.3 Komposit Serat

Serat terdiri dari ratusan bahkan ribuan filamen, masing-masing filament memiliki diameter 5 sampai 15  $\mu\text{m}$ , sehingga dapat diproses lebih lanjut (Gay, 2003). Material komposit serat ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.3** berikut.



**Gambar 2.3** *Fibrous Composite* (Gay, 2003)

Pada Gambar diatas terlihat bahwa material komposit dibentuk oleh matriks yang diisi oleh serat-serat sehingga

material yang dihasilkan memiliki sifat gabungan dari matriks dan bahan penguatnya yang berupa serat.

Komposit serat menurut klasifikasi dibagi menjadi dua, yaitu *Continuous (align)* dan *Discontinuous (short)*.

*Continouos fiber* merupakan serat komposit yang memiliki serat berukuran panjang dan tersusun secara sejajar (rapi) sementara *Discontinuous* memiliki serat yang pendek. *Discontinuous* fiber dibagi kembali menjadi dua yaitu *Align* dan *Randomly Oriented*.

*Discontinuous Align* dimaksudkan bahwa serat yang dimiliki pendek namun tersusun secara sejajar dan rapi sementara *randomly oriented* memiliki serat pendek dan tersusun tersebar tanpa pola. (William D Callister, Jr. 8th edition)

Secara umum tipe serat dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya :

a. *Continuous Fiber Composite*

Disebut juga sebagai *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangannya adalah lemahnya kekuatan antar lapisan dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya

b. *Woven fiber composite*

Disebut juga *bi-directional*, komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya tidak beitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik *continuous fiber*.

c. *Discontinuous fiber*

Komposit jenis ini masih dibedakan lagi menjadi :

- *Align discontinuous fiber*

Dimana serat nya berukuran pendek namun tersusun secara *rapid* dan sejajar

- *Randomly oriented discontinuous fiber*

Komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya lebih murah. Kekurangannya adalah sifat mekaniknya masih dibawah penguatan dengan serat *align discontinuous oriented*.

Ditinjau dari pembuatannya, serat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu serat sintetis dan serat alami. Kedua jenis serat itu digunakan sebagai penguat atau pengisi pada material komposit. Serat sintetis banyak berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi.

Serat alami merupakan serat yang terbuat dari bahan-bahan alami seperti aren, serabut kelapa, pelepah pisang, serat pohon, residu kayu, dan lain-lain. Penggunaan serat alami bukanlah memberikan efek penguatan, tetapi hanya penambah massa dari material komposit sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah bahkan menurunkan kekuatan dan kekakuan matriks sebelumnya (Sulistijono, 2012)

## 2.4 Matriks Polymer

Matriks merupakan fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat bersama-sama. Matriks merupakan kontituen penyusun komposit yang berperan sebagai pengikat atau penyangga yang menjaga kedudukan antar fasa penguat . Karakteristik yang harus dimiliki matriks umunya adalah ulet, kekuatan dan rigiditas rendah apabila dibandingkan penguat. Matriks harus mampu membeku pada temperatur dan tekanan yang wajar. Bahan matrik yang umum digunakan pada komposit adalah matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik.

Komposit matriks polimer (*Polymer Matrix Composite*) merupakan komposit dengan matriks berupa polimer seperti *epoksi, poliester, urethane*, diberi penguat berupa serat dengan diameter yang kecil seperti *grafit, aramid, dan boron*. Contohnya,

komposit *grafit/epoksi* memiliki kekuatan lima kali lebih tinggi apabila dibandingkan dengan baja pada berat yang sama. Hal ini menjadi alasan penggunaan komposit matriks polimer yang luas, karena harga murah, kekuatan tinggi, dan proses manufaktur yang relatif sederhana.

Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composite*) merupakan komposit dengan matriks berupa logam, seperti contoh *aluminium, magnesium, dan titanium*. Logam digunakan untuk meningkatkan atau menurunkan sifat untuk kebutuhan desain. Contohnya, kekakuan dan kekuatan logam dapat meningkat dan koefisien termal yang tinggi dan konduktivitas listrik dan panas dapat berkurang, dengan penambahan serat tertentu, misalnya silikon karbida. Kelebihan komposit matriks logam adalah memiliki spesifik kekuatan dan modulus yang lebih tinggi dengan menguatkan logam yang densitasnya rendah dan koefisien muai panas yang rendah. Apabila dibandingkan dengan Komposit matriks polimer, kelebihanannya adalah sifat elastis yang lebih tinggi, temperatur kerja yang lebih tinggi, tidak sensitif pada uap, konduktivitas listrik dan termal yang lebih tinggi, ketahanan gesekan, lelah, dan cacat yang lebih baik. (Sulistijono, 2012).

Komposit matriks keramik (*Ceramic Matrix Composite*) merupakan komposit yang menggunakan matriks keramik seperti alumina, alumina silikat, dan lain-lain. Kelebihanannya adalah memiliki kekuatan, kekerasan yang tinggi, tahan pada reaksi kimia, dan densitas yang rendah. Kombinasi serat dan matriks keramik menghasilkan sifat mekanik yang tinggi dan kemampuan temperatur kerja yang ekstrim (Kaw, 2006).

## 2.5 Serat Sabut Kelapa

Serat adalah merupakan suatu fase penguat dalam material komposit. Dalam penelitian baru baru ini serat kelapa digunakan sebagai matriks penguat dalam pembuatan material komposit. Secara umum kelapa tersedia di hampir seluruh dunia dan merupakan sumber daya alam yang sangat melimpah. Buah kelapa terdiri dari epicarp yaitu bagian luar yang permukaannya licin,

agak keras dan tebalnya  $\pm 0,7$  mm, mesocarp yaitu bagian tengah yang disebut sabut, bagian ini terdiri dari serat keras yang tebalnya 3–5 cm, endocarp yaitu tempurung tebalnya 3–6 mm. Sabut merupakan bagian tengah (mesocarp) epicarp dan endocarp. Sabut kelapa merupakan bagian terluar buah kelapa. Ketebalan sabut kelapa berkisar 5-6 cm yang terdiri atas lapisan terluar (exocarpium) dan lapisan dalam (endocarpium). Endocarpium mengandung serat halus sebagai bahan pembuat tali, karpet, sikat, keset, isolator panas dan suara, filter, bahan pengisi jok kursi/mobil dan papan hardboard. Satu butir buah kelapa menghasilkan 0,4 kg sabut yang mengandung 30% serat. Serat serabut kelapa ditunjukkan oleh **Gambar 2.4** dibawah ini.



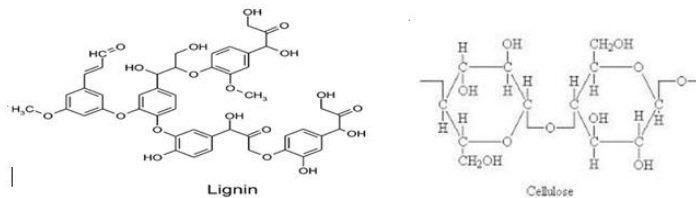
**Gambar 2.4** Serabut Kelapa

Komposisi kimia sabut kelapa terdiri atas selulosa, lignin, pyroligneous acid, gas, arang, ter, tannin, dan potasium. Hasil uji komposisi serat sabut kelapa berdasarkan SNI yang dilakukan Sarana Riset dan Standarisasi dapat dilihat pada **Gambar 2.5** berikut :

Parameter	Hasil Uji Komposisi (%)	Metode Uji
Kadar Abu	2.02	SNI 14-1031-1989
Kadar Lignin ( Metode Klason)	31.48	SNI 14-0492-1990
Kadar Sari	3.41	SNI 14-1032-1989
Kadar Alfa Selulosa	32.64	SNI 14-0444-1989
Kadar Total Selulosa	55.34	Metoda Internal BBPK
Kadar Pentosan sebagai Hemiselulosa	22.70	SNI 01-1561-1989
Kelarutan dalam NaOH 1 %	20.48	SNI 19-1938-1990

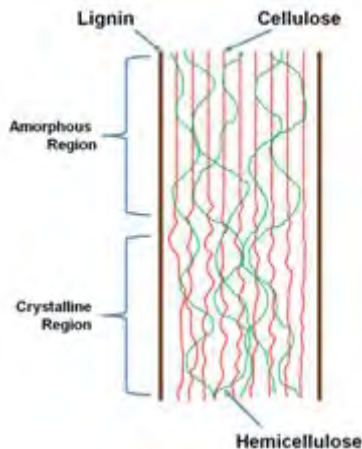
**Gambar 2.5** Uji Komposisi Serat Sabut Kelapa (Sunaryo, 2008)

Gambar dibawah ini merupakan struktur kimia dari komposisi serat kelapa yaitu selulosa dan lignin.



**Gambar 2.6** Struktur kimia selulosa dan lignin (Chen H, 2014)

Skema dari lignin dan selulosa dapat dilihat pada **Gambar 2.7** dibawah ini



**Gambar 2.7** Skema Komponen Serat Kelapa

Serat kelapa memiliki beberapa sifat yaitu tahan lama, kuat terhadap gesekan dan tidak mudah patah serta tahan terhadap air, jamur dan hama (Ulfa, 2006). Selain itu serat kelapa juga memiliki kelebihan yakni tidak mudah terbakar, resilient, mampu menampung air 3 kali dari beratnya, bersifat *bio-degradable* dan ramah lingkungan.

Dari sifat mekanik nya :

- a. Kekuatan tarik dari serat kasar dan halus berbeda.
- b. Mudah rapuh.
- c. Bersifat lentur. (Zainal M, 2005)

## 2.6 Matriks Polyurethane

Polyurethane (PU) foam adalah salah satu produk utama dari material urethane. Pada dasarnya material ini diproduksi dari polyol, isocyanate, air, katalis dan surfactant. Dari bahan-bahan tersebut, campuran polyol dan isocyanate akan membentuk ikatan polyurethane. Komponen lain seperti air ditambahkan sebagai blowing agent untuk membentuk foam sementara katalis dan



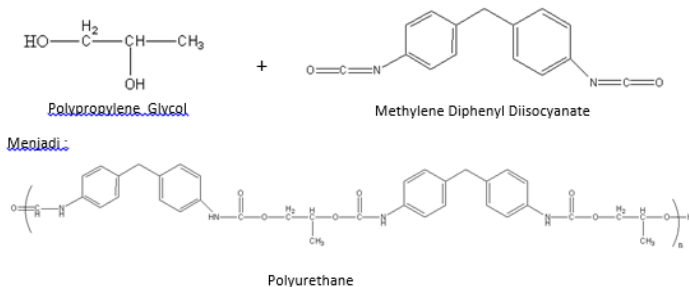
surfactant berfungsi sebagai penyokong pertumbuhan inti dan juga sebagai penstabil foam pada saat tahap berkembangnya foam.

PU foam digunakan secara luas pada berbagai aplikasi. Pada umumnya digunakan sebagai material bantalan untuk tempat duduk mobil, kasur, dan juga furniture. Selain itu juga digunakan sebagai bahan pakaian dan diapers di kehidupan sehari-hari. Dari yang telah disebutkan sebelumnya, terlihat jelas bahwa material ini telah digunakan menjadi berbagai macam produk dikarenakan propertiesnya yang ringan, dan cukup kuat dihubungkan dengan performa rasio beratnya. (D. Klempner and V. Sendjarevic, 2004)

Polyurethane biasanya digunakan dengan filler berbentuk serat, partikel dan lainnya. Pada masa kini, telah dilakukan penelitian bahwa penambahan filler seperti PET, carbon nanotube, calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), calcium carbonate dan silica akan meningkatkan property mekanik, kemampuan akustik dan kemampuan untuk di recycle. (Ting, LiangLiang dkk, 2011)

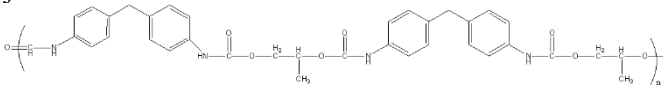
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, PU merupakan bahan hasil poliadisi yang ditemukan oleh Otto Bayer digunakan sebagai busa keras maupun lunak serta sebagai bahan pelapis dan campuran elastomer. PU dibuat dengan mereaksikan diisocyanate dengan diol menghasilkan struktur blok yang terdiri atas bagian yang keras (isocyanate dan diol berantai pendek) dan bagian yang lunak (diol berantai panjang). Keras dan lunaknya PU dihasilkan dari variasi ketiga komponen pembentuk blok tersebut.

Salah satu jenis polyurethane yang dapat dibuat adalah dengan mereaksikan polypropylene glycol dan methylene diphenyl diisocyanate dengan tambahan foaming agent formaldehyde. Reaksi pembentukan polyurethane yang terjadi ditunjukkan oleh **Gambar 2.8** dibawah ini.



**Gambar 2.8** Reaksi Polyurethane

Hasil dari reaksi tersebut menghasilkan polyurethane yang memiliki dua blok yaitu blok kaku dan blok lunak seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.9** dibawah ini.



**Gambar 2.9** Blok Polyurethane (D. Klempner and V. Sendjarevic, 2004)

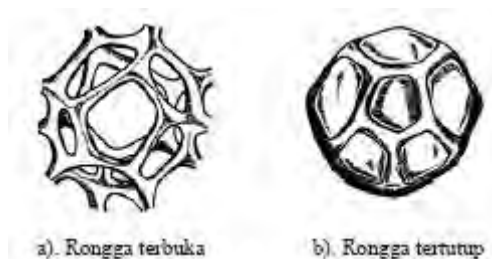
Reaksi polyurethane menghasilkan busa yang berisi gas. Gas memiliki kekuatan mekanik yang rendah. Oleh karena itu semakin banyak gas yang terbentuk maka semakin berkurang kekuatan dari busa polyurethane, semakin rendah densitas polyurethane menunjukkan semakin kecil modulus young. Jika rasio tinggi-lebar cell meningkat, maka tensile dan compressive strength juga meningkat. Open cell structure memiliki kelemahan yaitu rendahnya sifat mekanik, namun memiliki kelebihan pada absorpsi suara. (Ashida, 2007)

**Tabel 2.2** berikut memperlihatkan sifat-sifat yang dimiliki oleh PU. Terlihat bahwa PU memiliki melting temperature mencapai 75-137 °C dan berat jenis sebesar 1.12-1.24 gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabel 2.2** Sifat-Sifat Polyurethane

Sifat fisik	
Berat jenis	1.12-1.24 gr/cm <sup>3</sup>
Serapan air	0.15-0.19 %
Shrinkage	0.4-1 %
Sifat mekanis	
Kekuatan Tarik	4500-9000 Psi
Perpanjangan hingga patah	60-550 %
Kekuatan terhadap kejut Izod	1.5-1.8 ft-lb/in (tidak patah)
Sifat thermal	
Melting temperature	75-137 °C
Suhu proses	370-500

Pori yang terbentuk pada polyurethane umumnya terdiri dari 2 jenis yaitu susunan terbuka (open-cell) dan tertutup (closed-cell). Pada material dengan susunan terbuka terdapat pemutusan dinding rongga dan bersifat flexible. Material dengan closed cell tidak ada pemutusan dinding rongga dan bersifat kaku. Perbedaan kedua jenis susunan rongga tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Jenis Material Berongga (Klempner dan sendijarevic, 2004)

## 2.7 Bunyi dan Gelombang Bunyi

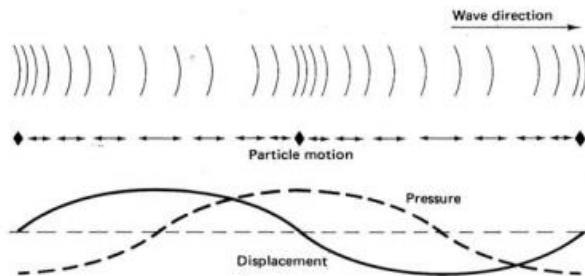
Bunyi, secara psikologis, didefinisikan sebagai hasil dari variasi-variasi tekanan disuatu medium baik udara maupun air yang berlaku pada permukaan telinga yang mengubah variasi tekanan menjadi sinyal-sinyal elektrik dan diterima otak sebagai bunyi. Bunyi juga dapat didefinisikan sebagai gangguan fisik yang memiliki tekanan dan sebagai medium pemindah gelombang bunyi. Medium ini dapat berupa udara, gas dan benda padat. Menteri Negara Lingkungan Hidup dalam sebuah kepuusannya (No. Kep 48 /MENLH/11/1996 ; tentang baku tingkat kebisingan) mengistilahkan “ Kebisingan adalah bunyi yag tidak diinginkan dari usaha/kegiatan manusia dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan“. Tingkat kebisingan dari beberapa sumber dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.3** Tingkat Kebisingan Rata-Rata Diukur dari Beberapa Jarak (Hemond Jr, Conrad J, 1983)

Sumber Kebisingan	Tingkat kebisingan, dB
Detik arloji	20
Halaman tenang	30
Kantor	60
Pembicaraan normal, 1m	32
Mobil di lalu lintas kota, 7m	70
Industri	80
Mesin potong rumput, 3m	105
Roket ruang angkasa	175

Bunyi merupakan rangkaian perubahan tekanan yang terjadi secara cepat di udara. Perubahan tekanan ini disebabkan oleh adanya objek yang bergerak cepat atau bergetar, yang kemudian disebut sebagai sumber bunyi. Adapun tiga elemen utama yang perlu diperhatikan dalam setiap situasi akustik adalah sumber, jejak perambatan, telinga si penerima. Gelombang bunyi menjalar didalam benda padat, benda cair, dan gas. Bunyi tidak

merambat melalui ruang hampa udara (vakum). Bunyi merambat melalui suatu medium dengan cara memindahkan energi kinetik dari satu molekul lainnya dalam medium tersebut. Gelombang bunyi juga dapat menjalar ke bahan-bahan lainnya. Oleh karena itu, bunyi tidak dapat berpindah tanpa adanya bahan atau medium perantara. Bunyi dapat dikategorikan sebagai gelombang longitudinal. Gelombang longitudinal adalah hasil gerak partikel yang berganti-ganti dari perapatan dan perenggangan (alternate compression and rarefaction) dari medium sebagai gelombang suara seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.11**



**Gambar 2.11** Gelombang Bunyi (Longitudinal)

Bunyi memiliki komponen yang dapat menentukan sifat bunyi. Tinggi-rendahnya bunyi ditentukan oleh cepat-lambatnya getaran dari sumber bunyi biasanya di representasikan dengan frekuensi bunyi. Ketika sumber bunyi bergetar, getaran yang terjadi pada setiap detik disebut frekuensi dan diukur dalam satuan Hertz (Hz). Jumlah getaran yang terjadi setiap detik tersebut sangat tergantung pada jenis objek yang bergetar. Secara singkat, hal ini dapat diartikan sebagai bahan pembentuk objek tersebut. Oleh karena itu setiap benda akan memiliki frekuensi tersendiri yang berbeda dari benda lainnya. Dalam bahasa umum dapat diartikan bahwa benda memiliki kekhasan bunyi yang membedakannya dengan bunyi benda lain. Frekuensi terendah yang mampu didengar manusia berada pada 20 Hz sampai pada ambang batas atas 20.000 Hz. Bunyi-bunyi yang muncul pada frekuensi di bawah

20 Hz disebut bunyi infrasonik, sedangkan yang muncul di atas 20.000 Hz disebut bunyi ultrasonik. Dalam rentang 20 Hz sampai 20.000 Hz tersebut, bunyi masih dibedakan lagi menjadi bunyi dengan frekuensi rendah (dibawah 1000 Hz), frekuensi sedang (1000-4000 Hz) dan frekuensi tinggi (diatas 4000 Hz). Penelitian menunjukkan bahwa telinga manusia nyaman mendengarkan bunyi pada frekuensi rendah. Secara umum tingkat frekuensi yang dipakai dalam pengukuran akustik lingkungan adalah 125, 250, 500, 1000, 2000 dan 4000 Hz atau 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096 Hz (Mediastika, 2005).

Penjelasan diatas menunjukkan bahwa frekuensi memiliki pengaruh terhadap tinggi-rendahnya bunyi. Sementara kekuatan bunyi berbeda dengan tinggi-rendahnya bunyi. Kekuatan bunyi ditentukan oleh dua hal, yaitu : amplitudo dan resonansi.

Amplitudo adalah lebar getar atau simpang getar yang dibuat oleh sumber bunyi. Semakin lebar getarannya, semakin kuat pula bunyinya. Sementara resonansi, berarti ikut bergetar sejalan getaran bunyi. Biasanya dilakukan oleh benda atau bagian terdekatnya. Dan sedikit banyak kejadian ini akan menambah kekuatan getar sumber bunyi.

## **2.8 Kebisingan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan 60-70 tahun yang lalu memperlihatkan bahwa parameter akustik suara seperti sound pressure, durasi kebisingan, tipe dan frekuensi kebisingan dapat berpengaruh pada berkurangnya kemampuan pendengaran. Hal yang sangat mempengaruhi tingkat kebisingan dan durasi kebisingan dapat di rumuskan dalam metric yang disebut dosis kebisingan. Dosis kebisingan menggambarkan integrasi dari tingkat kebisingan yang diterima selama beberapa waktu. Hal penting dari dosis kebisingan ini telah dikenali sejak beberapa tahun yang lalu oleh komunitas scientist dan telah dimasukkan kedalam desain standar nasional dan internasional untuk

memperkirakan kehilangan pendengaran akibat kebisingan diatas batas yang dapat diterima. (sesuai dengan ISO-1999; ANSI S3.44).

Pada umumnya, dosis kebisingan ini dispesifikan pada kondisi 8 jam menerima kebisingan terus menerus (tingkat kebisingan dalam dBA). Penetapan dosis kebisingan menggunakan alat yang disebut sebagai Noise Dosimeter. Agar pengukuran tingkat kebisingan ini relevant maka pengukuran harus dilakukan ditempat seseorang yang terkena kondisi kebisingan. Idealnya dosis kebisingan ini diukur di telinga seseorang pada waktu ia terkena efek kebisingan. Sebagai contoh pada mesin jet diketahui memiliki sound level sebesar 140dBA, pada medan suara dengan jarak 1 meter bukan merupakan data yang informative untuk jam kerja individu (8 jam) pada jarak 30 meter dari mesin (dengan pemakaian helm dan alat proteksi pendengaran). Dengan asumsi tidak ada pengaruh keadaan, hukum inverse-square mengindikasikan baha pertambahan jarak dari sumber bunyi akan mengurangi level bunyi menjadi 110 dBA pada jarak 32 meter. Ditambah dengan adanya alat proteksi suara, maka tingkat kebisingan pada telinga dapat dikurangi dengan pertambahan 20-25 dB menuju batas aman untuk pendengaran.

Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa suatu dosis kebisingan tidak selalu menghasilkan kehilangan pendengaran akibat kebisingan dalam jumlah yang setara. Sebagai contoh, terdapat tiga sumber kebisingan : (1) kebisingan yang stabil di frekuensi rendah, (2) stabil di frekuensi tinggi, (3) memiliki frekuensi berubah-ubah. Meskipun dosis kebisingan bernilai constant pada ketiga kondisi ini namun efek pada pengurangan kemampuan mendengar bervariasi sesuai dengan kondisi-kondisi tersebut. (Mills, 1992 ; Ward, 1991)

Kebisingan pun dapat ditimbulkan dari kendaraan. Kebisingan luar yang dihasilkan oleh kendaraan penumpang telah di control sejak 1929 ketika peraturan mengenai kendaraan bermotor (kebisingan berlebih) diberlakukan. Mobil pada masa kini disyaratkan memenuhi batasan kebisingan yang ditetapkan di eropa. Dengan adanya pemberlakuan peraturan ini telah

menurunkan tingkat kebisingan dengan cukup baik dari 82 decibel (dB (A)) pada tahun 1978 dibatasi menjadi 74 dB (A) yang disahkan pada tahun 1996. Hal ini berarti satu kendaraan dengan batas kebisingan di tahun 1978 sama dengan 7 kendaraan baru. Informasi batas kebisingan tersebut bernilai berbeda bagi mesin diesel yaitu sebesar 76 dB (A).

Batas kebisingan yang telah dipaparkan diatas merupakan batas maksimum yang diijinkan untuk kendaraan tipe baru. Pada masa kini banyak kendaraan yang diproduksi dengan tingkat kebisingan yang rendah dan tidak dilegalkan untuk memodifikasi exhaust system kendaraan untuk membuatnya menjadi lebih bising dari batas kebisingan yang telah ditetapkan pemerintah eropa.

Pada bulan july 2016 nanti akan dipublikasikan peraturan baru EU, yaitu peraturan (EU) No. 540/2014 dengan tahap batas kebisingan selama 10 tahun yang akan direvisi dengan test yang lebih representative artinya pada tahun 2026 batas kebisingan kendaraan penumpang berkisar menjadi 68 dB (A). ([www.dft.gov.uk](http://www.dft.gov.uk))

## **2.9 Material Akustik**

Material akustik adalah material teknik yang fungsi utamanya adalah untuk menyerap suara/bising. Material akustik adalah suatu bahan yang dapat menyerap energi suara yang datang dari sumber suara. Pada dasarnya semua bahan dapat menyerap energi suara, namun besarnya energi yang diserap berbeda-beda untuk tiap bahan. Energi suara tersebut dikonversi menjadi energi panas, yang merupakan hasil dari friksi dan resistansi dari berbagai material untuk bergerak dan berdeformasi. Sama halnya dengan besar energi suara yang sangat kecil bila dilihat dalam satuan Watt, energi panas yang dihasilkan juga sangat kecil sehingga secara makroskopis tidak akan terlalu terasa perubahan temperatur pada bahan tersebut.

Menurut Lewis dan Douglas (1993) material akustik dapat dibagi ke dalam tiga kategori dasar, yaitu material penyerap



(absorbing material), material penghalang (barrier material), material peredam (damping material). Material penghalang pada dasarnya memiliki massa yang padat, untuk material peredam biasanya adalah lapisan yang tipis untuk melapisi benda. Lapisan tersebut biasanya adalah plastik, polimer, *epoxy*, dan lain-lain. Sedangkan untuk material penyerap, biasanya berpori (*porous*) dan berserat (*vibrous*).

Pada material penyerap suara, energi suara datang yang tiba pada suatu bahan akan diubah sebagian oleh bahan tersebut menjadi energi lain, seperti misalnya getar (vibrasi) atau energi panas. Oleh karena itu, bahan yang mampu menyerap suara pada umumnya mempunyai struktur berpori atau berserat. Nilai absorpsivitas suara dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\alpha = \quad W_a/W_i \quad (2.1)$$

Dimana  $W_a$  dan  $W_i$  masing-masing adalah daya suara yang diserap dan daya suara yang tiba pada permukaan bahan. Bahan-bahan akustik yang tergolong sebagai bahan penyerap suara antara lain adalah *glass wool*, *rock wool*, *soft board*, *carpet*, kain, busa, *acoustic tiles*, *resonator*, dan lain-lain.

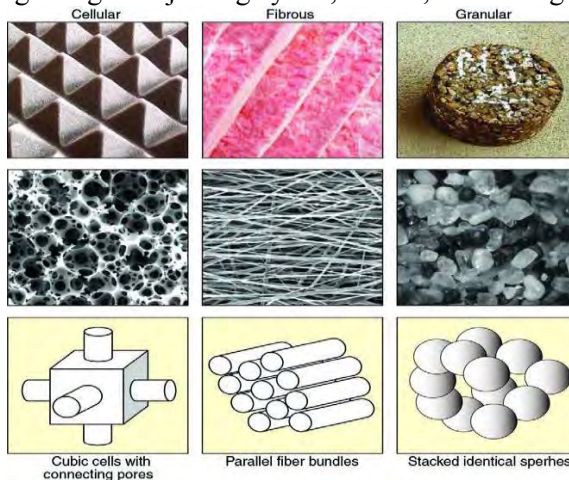
## 2.10 Material Penyerap Suara

Menurut Jorge P.Arena dan Malcolm J Crocker, material penyerap suara menyerap energy suara yang melewatinya membuat nya sangat berguna untuk mengontrol kebisingan. Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang telah ada. Pada tahun 1970-an, masalah kesehatan masyarakat membantu menemukan material utama bahan penyerap suara berbasis asbes untuk serat sintetis baru. Meskipun serat ini lebih aman bagi kesehatan manusia namun dapat berakibat pada pemanasan global. Produksi bahan sintetis berkontribusi pada emisi karbon dioksida, metana dan nitro oksida yang nantinya berbahaya pula bagi kesehatan manusia. Maka mulailah bermunculan penelitian

penyerap suara yang memanfaatkan serat alami. (Lord HW, et al, 1987)

Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang ada, material ini memiliki sifat absorbs yang bergantung pada frekuensi, komposisi, ketebalan, kehalusan permukaan dan metode pembuatan. Namun biasanya material yang memiliki nilai koefisien penyerap suara yang tinggi adalah material berpori. Material penyerap berpori adalah material solid yang mengandung rongga sehingga gelombang suara dapat masuk melewatinya. Material penyerap berpori dapat diklasifikasikan sebagai selular, serat, dan granular pada konfigurasi mikroskopisnya. Material ini terdiri dari lubang kecil sebagai jalan masuknya gelombang suara. Sel Polyurethane dan foam adalah salah satu jenis dari material selular. Sementara material serat biasanya terdiri dari serat alami dan serat sintetis. Dan contoh dari granular material yaitu asphalt, tanah liat, pasir, tanah dan sebagainya. ( Jorge P. Arenas dan Malcolm J. Crocker, 2010)

Berikut **Gambar 2.18** mengenai klasifikasi material penyerap berpori yang dibagi menjadi tiga yaitu, selular, serat dan granular.



**Gambar 2.18** Tiga Tipe Utama Material Penyerap Suara Berpori (Jorge P. Arenas dan Malcolm J. Crocker, 2010)

Material penyerap pada umumnya berpori (porous) dan berserat (fibrous). Besarnya penyerapan bunyi ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap dinyatakan dengan koefisien absorbsi ( $\alpha$ ). Kemampuan suatu material dalam menyerap bunyi sangat bervariasi. Selain itu kemampuan tersebut juga bergantung pada struktur dan massa jenis material. Berikut ini adalah beberapa koefisien absorpsi dari material akustik yang dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4** Koefisien Absorpsi Dari Material Akustik (Doelle, Leslie L, 1993)

Material	Frekuensi (Hz)					
	150	250	500	1000	2000	4000
Gypsum board (13 mm)	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Kayu	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Gelas	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Tegel Geocoustic (81 mm)	0.13	0.74	2.35	2.53	2.03	1.73
Beton yang dituang	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Bata tidak dihaluskan	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Steel deck(150 mm)	0.58	0.64	0.71	0.63	0.47	0.40

Kualitas dari bahan penyerap suara ditunjukkan dengan harga  $\alpha$  (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi). Semakin besar nilai  $\alpha$  maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai  $\alpha$  berkisar dari 0 sampai 1. Jika  $\alpha$  bernilai 0, artinya tidak ada bunyi

yang diserap. Sedangkan jika  $\alpha$  bernilai 1, artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan (Khuriati, 2006)

Selain material diatas, masih banyak pula produk yang dihasilkan yang memiliki kemampuan untuk menyerap suara. Beberapa dari produk tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

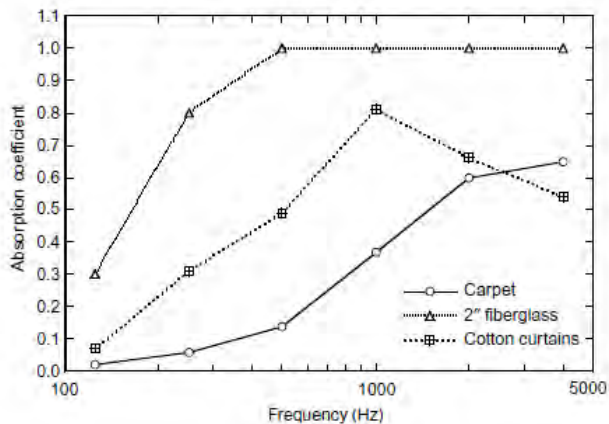
**Tabel 2.5** Nilai Koefisien Serap Beberapa Jenis Produk  
(Priesma, 2012)

Jenis Produk	Ketebalan (cm)	Kerapatan (cm)	Frekuensi (Hz)		
			500	1000	2000
Glasswool	5	0.05	0.65	0.75	0.8
Rockwool	5	0.05	0.52	0.83	0.91
Komersial yumen board	5	0.5	0.12	0.27	-
Solidwool	5	0.5	0.11	0.28	-

Terdapat dua jenis material penyerap (absorption) yaitu material penyerap resonant dan material penyerap berpori. Kedua jenis tersebut memiliki karakteristik yang sangat berbeda karena perbedaan mekanisme dalam penyerapan suara. Secara lengkap penjelasan material penyerap adalah sebagai berikut.

a. penyerap berpori

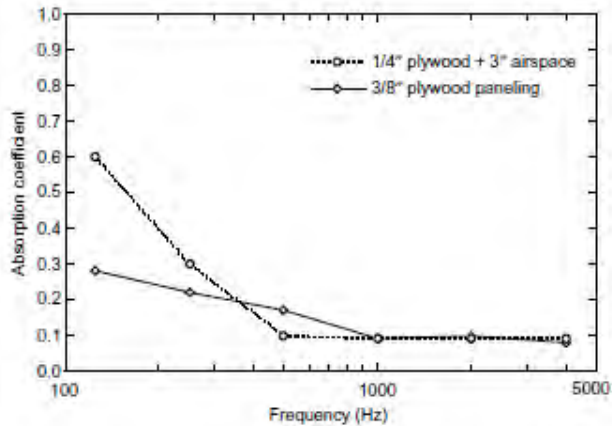
Bahan berpori seperti karpet, korden, foam, glasswool, rockwool, cellulose fiber, dan material lunak lainnya, menyerap energi suara melalui energi gesekan yang terjadi antara komponen kecepatan gelombang suara dengan permukaan materialnya. Bahan penyerap suara tipe ini akan menyerap energi suara lebih besar di frekuensi tinggi. Tipikal kurva karakteristik penyerapan energi suaranya sebagai fungsi frekuensi, dapat dilihat pada **Gambar 2.12** berikut



**Gambar 2.12** Kurva Zona Frekuensi Material Penyerap Berpori (Howard dan Angus, 2009)

b. Penyerap resonant

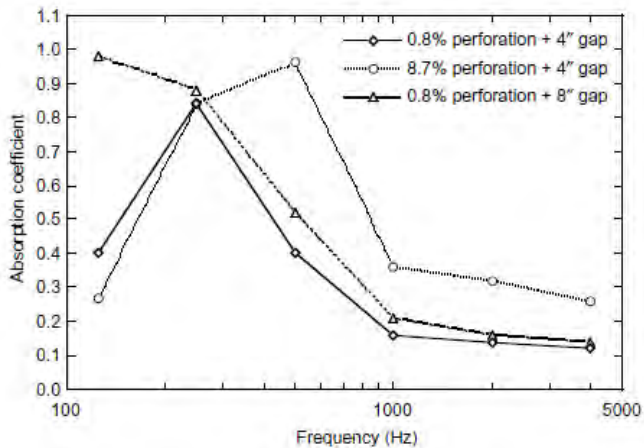
Bahan penyerap suara tipe resonansi seperti panel kayu tipis, menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran, yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya (misal oleh udara, atau material berpori). Ini berarti, material tipe ini lebih sensitif terhadap komponen tekanan dari gelombang suara yang datang, sehingga lebih efektif apabila ditempelkan pada dinding. Bahan penyerap tipe ini lebih dominan menyerap energi suara ber frekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman (tebal) rongga udara dibaliknya . Tipikal respon frekuensi bahan penyerap tipe resonant ditunjukkan oleh **Gambar 2.13** dibawah ini.



**Gambar 2.13** Zona Frekuensi Penyerap Resonant  
(Howard dan Angus, 2009)

c. Penyerap Resonant Helmholtz

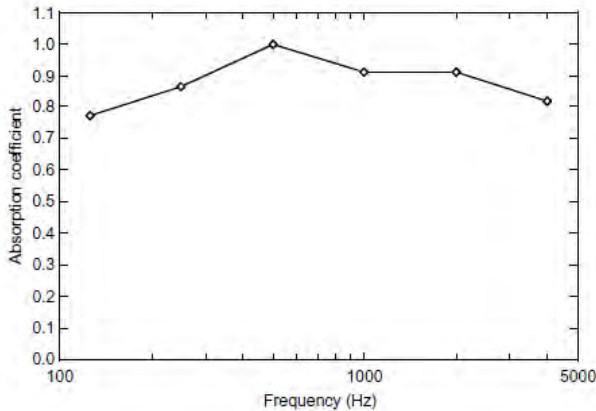
Tipe lain dari bahan penyerap suara ini adalah apa yang disebut sebagai Resonator Helmholtz. Efektifitas bahan penyerap suara tipe ini ditentukan oleh adanya udara yang terperangkap di “pipa atau leher” diatas bidang berisi udara (bentukan seperti leher botol dsb). Permukaan berlobang menjadi ciri utama resonator yang bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, leher, dan volume ruang udaranya. Zona frekuensi tipe helmlotz ditunjukkan oleh **Gambar 2.14** dibawah ini.



**Gambar 2.14** Zona Frekuensi Tipe Helmholtz (Howard dan Angus, 2009)

d. Penyerap Wideband

Apabila diinginkan sebuah material yang memiliki frekuensi kerja yang lebar (rendah, menengah, dan tinggi), maka harus digunakan gabungan ketiga bahan penyerap suara tersebut. Kombinasi antara proses gesekan dari komponen kecepatan gelombang suara dan resonansi dari komponen tekanan gelombang suara akan membuat kinerja penyerapan energi suara oleh material besar untuk seluruh daerah frekuensi. Kurva tipe Wideband ditunjukkan oleh **Gambar 2.15** dibawah ini.



**Gambar 2.15** Zona Frekuensi Tipe Wideband (Howard dan Angus, 2009)

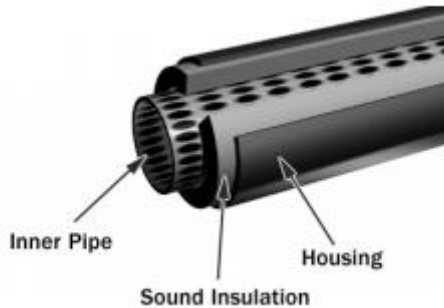
### 2.11 Muffler

Muffler adalah bagian dari sistem pembuangan pada sebuah mobil yang memainkan peran penting. Muffler (disebut juga sebagai silencer) adalah perangkat yang digunakan untuk mengurangi jumlah suara yang dipancarkan oleh knalpot dari mesin pembakaran internal. Penggunaan muffler pada kendaraan sangat diperlukan. Batas legal dari kebisingan di exhaust system di beberapa Negara seperti California adalah 95 dB dan untuk Indonesia adalah 70 dB. Pada umumnya kendaraan tanpa muffler akan memiliki kebisingan melebihi 110 dB (A). (Engineering Acoustics, 2002). Hal tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Pada umumnya muffler diklasifikasikan dalam dua kategori berbeda, yaitu Absorptif dan reaktif.

Sebuah muffler absorptif yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.16** terdiri dari saluran dan ruang yang dilapisi dengan material penyerap suara yang dapat menyerap energy akustik dan mengubahnya menjadi panas. Muffler jenis ini berguna untuk frekuensi yang luas dan dapat menjangkau frekuensi yang tinggi.



Keuntungan dari muffler jenis ini adalah penurunan tekanan disistem rendah karena arah aliran tidak signifikan diubah oleh desain berliku-liku didalam muffler. Kelemahan dari muffler absorptif adalah bahwa muffler ini kurang efektif pada frekuensi rendah, namun hal tersebut dapat diatas dengan material penyerap suara yang tebal. (Tyler W Le roy, 2011)



**Gambar 2.16** Muffler Absorptif

Sifat yang paling penting dari muffler absorptive adalah bahwa muffler ini memiliki peredaman yang konstan. Sifat tersebut dapat menyebabkan banyaknya energy disipasi dan rendahnya radiasi sound power. **Tabel 2.6** berikut merupakan kelebihan dan kekurangan dari muffler absorptive.

**Tabel 2.6** Kelebihan dan Kekurangan Muffler Absorptif  
(Engineering Acoustic, 2002)

Kelebihan muffler absorptive
1. Mengabsorbsi baik pada frekuensi tinggi
2. Baik diaplikasikan untuk broadband dan narrowband
3. Mengurangi back pressure

Kekurangan muffler absorptive
1. Performa rendah pada frekuensi rendah
2. Material dapat terdegradasi pada beberapa kondisi (panas, dll)

Sementara muffler reflektif yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.17** terdiri dari beberapa chamber yang berbeda volum dan bentuk yang dihubungkan oleh pipa. Muffler reflektif ini memantulkan energy suara kembali ke sumbernya dan sangat berguna untuk mengurangi kebisingan pada frekuensi tetap ataupun pada system aliran gas yang panas, dan berkecepatan tinggi. Keuntungan dari muffler reflektif ini adalah harganya ekonomis dan hanya membutuhkan sedikit proses maintenance sementara kelemahannya yaitu bahwa ada beberapa rentang frekuensi dari tekanan suara knalpot yang lemah untuk ditangkap. (Ji Z dan Mr. Jigar, 2014)



**Gambar 2.17** Muffler Reaktif

Getaran yang dilepaskan oleh gas pembuangan adalah penyebab dari munculnya suara bising pada mesin. Ketika mesin melakukan langkah ekspansi, katup pembuangan akan terbuka dan

tekanan yang tersisa didalam silinder mendorong gas buang keluar sebagai getaran dalam system pembuangan. Getaran ini berada diantara 0.1-0.4 atmosfir pada amplitudonya dengan durasi getaran antara 2-5 milisekon. Umumnya, mesin kendaraan bermotor menghasilkan suara bising antara 100-130 dB tergantung dari jenis dan tipe mesin tersebut sementara suara bising yang berkisar lebih dari 80 dB dapat membahayakan manusia. (Rahman, 2005).

## 2.12 Penelitian Terdahulu

**Tabel 2.7** dibawah ini adalah penelitian yang telah dilakukan mengenai sound absorption material.

**Tabel 2.7** Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Serat dan Matriks	Metode Pembuatan	Hasil Pengujian	
			Uji Absorpsi Suara	Uji Sifat Lainnya
Farid dan Hosta (2015)	Bambu-rami dan Polyester	-	a. Dengan aspek rasio 90, nilai $\alpha$ serat rami mencapai 0.836 pada frekuensi 125 Hz b. Serat bamboo mencapai nilai $\alpha$ 0.972 pada frekuensi 1000Hz	-
Farid dan Nabilla (2015)	Serat bamboo betung dan rami	Hand lay-up	c. Frekuensi 500 Hz, nilai $\alpha$	-

	dengan matriks gypsum		sebesar 0.347 d. Frekuensi 1000 Hz, Nilai $\alpha$ sebesar 0.376 e. Frekuensi 4000 Hz, nilai $\alpha$ sebesar 0.435	
Farid dan Suban (2014)	Serat ampas tebu dan rami dengan matriks gypsum	Hand lay up	a. Frekuensi 500 Hz, nilai $\alpha$ sebesar 0.665 b. Frekuensi 1000 Hz, nilai $\alpha$ sebesar 0.132 c. Frekuensi 2000 Hz, nilai $\alpha$ sebesar 0.090 d. Frekuensi 4000 Hz, nilai $\alpha$ sebesar 0.110	a. Pada uji lentur didapat nilai rata-rata 1.73 Mpa
Farid dan Agung	Serat ampas tebu dan	Hand lay up	a. Frekuensi 630 Hz, nilai $\alpha$	a. Pada uji lentur didapat

(2014)	bamboo betung dengan matriks gypsum		<p>sebesar 0.354</p> <p>b. Frekuensi 1250 Hz, nilai <math>\alpha</math> sebesar 0.385</p> <p>c. Frekuensi 2000 Hz, nilai <math>\alpha</math> sebesar 0.380</p> <p>d. Frekuensi 3150 Hz, nilai <math>\alpha</math> sebesar 0.416</p> <p>e. Frekuensi 4000 Hz, nilai <math>\alpha</math> sebesar 0.424</p>	nilai rata-rata sebesar 1.71 Mpa
Chan Wen Shan, Maizlin da Izwana Idris, dan Mohd Imran Ghazali (2012)	Serat kelapa dan ban bekas dengan matriks polyurethane	Close mould	<p>a. Perlakuan alkalisasi menguatkan ikatana matriks dan serat</p> <p>b. Filler meningkatkan viskositas PU, menyebabkan proses</p>	a. Pada uji TGA didapat temperatur dekomposisi serat kelapa sebesar 250° C

			pengembangan busa tidak sempurna. c. Pertambahan serat mengecilkan ukuran pori PU	
Yohana Maya dkk (2010)	Serat kelapa dengan matriks resin formaldehid	Hot press method	a. Pada komposisi serat:resin sebesar 1:1, 2:1, 3:1, 3:2 dan 5:3 memiliki $\alpha$ maksimum masing-masing 0.906; 0.921; 0.813; 0.845; dan 0.984	
S. Mahzan dkk (2012)	Serat Kelapa, karet dengan Matriks Polyurethane	Blending	a. memiliki $\alpha$ terbaik pada frekuensi tengah-tinggi b. komposisi PU 25% memiliki $\alpha$ terbaik hingga 0.7	a. semakin sedikit presentasi polyurethane, semakin berkurang densitas. b. Semakin bertambah serat

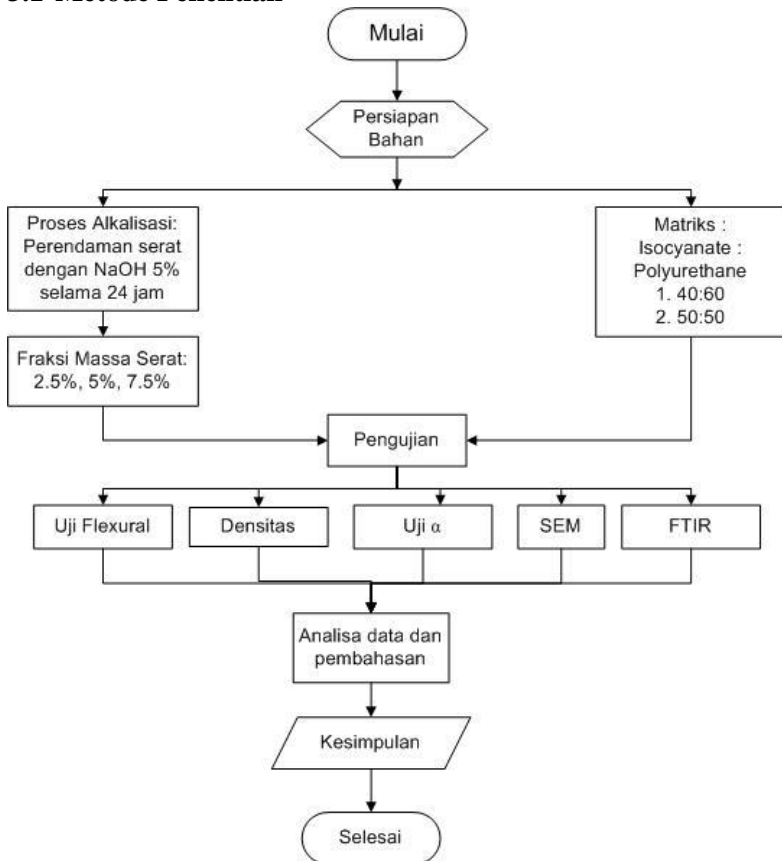
			c. semakin sedikit jumlah polyurethane meningkatkan koefisien absorpsi serat kelapa	kelapa, densitas berkurang
--	--	--	---	----------------------------

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Metode Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

#### 3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Serat sabut kelapa



**Gambar 3.2** Serabut Kelapa

2. Air



**Gambar. 3.3** Air

3. NaOH 5%



**Gambar. 3.4** NaOH

#### 4. Polimer isocyanate



**Gambar. 3.5** Isocyanate

#### 5. Polimer polyol



**Gambar 3.6** Polyol

### 3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Cetakan  
Cetakan digunakan untuk mencetak specimen uji
2. Timbangan digital  
Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan yang akan digunakan
3. Penggaris  
Penggaris digunakan untuk mengukur dimensi specimen
4. Gergaji

Gergaji digunakan untuk melepaskan specimen dari cetakan

5. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan serat setelah perendaman dengan NaOH. Oven yang digunakan milik Laboratorium Pengolahan Material di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

6. Mesin Pencacah Organik

Mesin pencacah organik yang digunakan milik laboratorium kimia dan bahan alam milik Jurusan Teknik Kimia ITS

7. Mesin Sieving

Mesin sieving yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS



**Gambar 3.7** Mesin Sieving

8. Mesin Uji Absorpsi Suara

Mesin uji absorpsi suara milik Laboratorium Akustik Material di Jurusan Teknik Fisika ITS

9. Mesin SEM

Mesin SEM yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS

### 10. Mesin Uji Flexural

Mesin uji flexural yang digunakan milik laboratorium UNAIR

### 11. Mesin FTIR

Mesin FTIR yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

## 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ialah perbandingan komposisi penyusun polyurethane dengan perbandingan isocyanate banding polyol dengan perbandingan:

1. 50:50

2. 40:60

Serta perbandingan fraksi berat serat permasing-masing komposisi polyurthane sebesar 2.5%, 5% dan 7.5%

## 3.4 Rancangan Penelitian

Untuk pelaksanaan penelitian dibawah ini adalah rancangan penelitian yang dilakukan

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

No .	Material Komposit		Pengujian				
	Matriks	Serat	Uji Lentur	$\alpha$	Densitas	SEM	FTIR
1	PU(40PPG:60PPI)	2.5 %	v	v	v	-	-
2		5 %	v	v	v	-	-
3		7.5 %	v	v	v	-	-
4	PU (50PPG:50 PPI)	2.5 %	v	v	v	-	-
5		5 %	v	v	v	-	-

6		7.5 %	v	v	v	-	-
7	PU(40PPG: 60PPI)	-	-	-	-	v	v
8	PU (50PPG:50 PPI)	-	-	-	-	v	v
9	Serat Kelapa Alkali	-	-	-	-	v	V
10	PU(40PPG: 60PPI), 7.5%	-	-	-	-	v	v
11	PU (50PPG:50 PPI), 7.5%	-	-	-	-	v	v

### 3.5 Metode Penelitian

#### 3.5.1 Persiapan Bahan

Untuk dapat melaksanakan pengujian, terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan. Persiapan bahan ini sangat penting untuk dilakukan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan dapat mempengaruhi hasil dari analisa dan pembahasan yang kita lakukan.

##### 3.5.1.1 Pengolahan Serat Kelapa

1. Serat kelapa dibersihkan dari pengotor dengan air bersih.
2. Serat kelapa yang telah bersih direndam dengan NaOH 5% selama 24 jam untuk mengurangi kandungan ligninnya.
3. Setelah direndam, serat kelapa dibilas dengan aquades lalu dikeringkan dengan oven hingga struktur serat kelapa sangat kering.
4. Serat yang telah kering di perhalus dengan mesin pencacah organic.
5. Serat di meshing untuk didapatkan ukuran yang homogen sebesar 250-450 mikron mesh.

6. Serat ditimbang sesuai perhitungan.

### **3.5.1.2 Pengolahan Matriks Polyurethane**

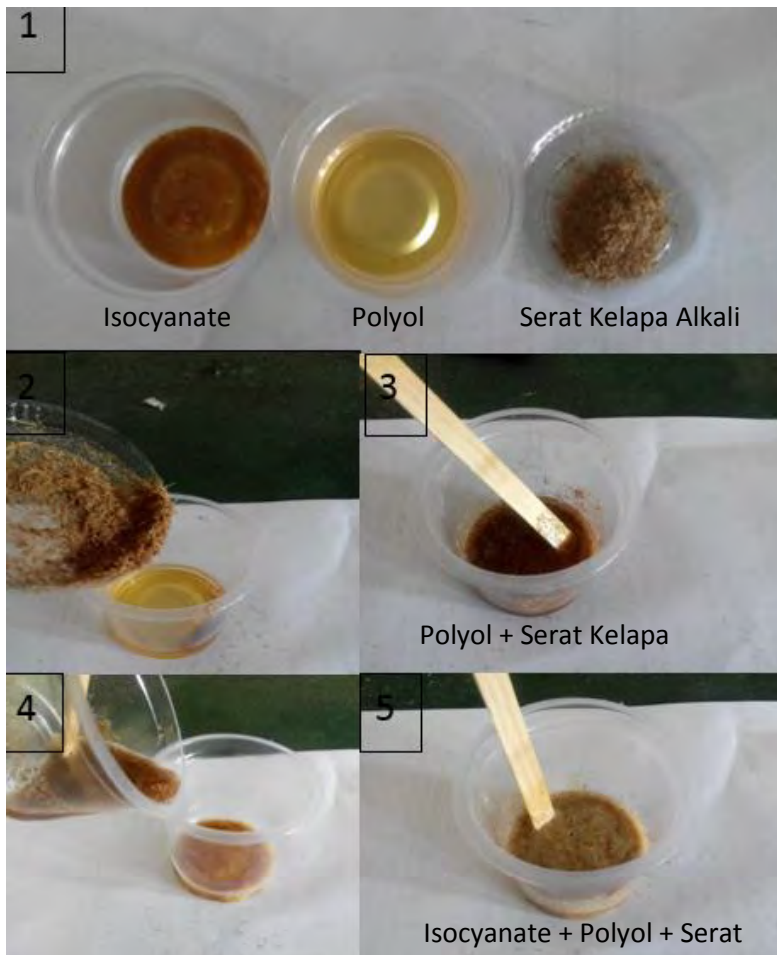
1. Phenyl-Isocyanate (Polyurethane A) dan PolyPropylene Glycol (Polyurethane B) dimasukkan dalam wadah berbeda lalu ditimbang sesuai perhitungan

### **3.5.1.3 Pembuatan Cetakan**

1. Untuk cetakan uji absorpsi suara terbuat dari pipa pvc dengan diameter 110 mm dan tinggi 30 mm
2. Untuk Cetakan Uji Flexural terbuat dari seng dengan ukuran 140x15x5 mm

### **3.5.1.4 Pembuatan Komposit**

1. Pembuatan specimen dilakukan dengan menimbang massa phenyl isocyanate dan poly propylene glycol sesuai dengan perbandingan komposisi yang ditentukan
2. Setelah itu menimbang massa serat sesuai dengan fraksi yang ditentukan
3. Serat yang telah ditimbang lalu dimasukkan kedalam wadah yang berisi poly propylene glycol, kemudian diaduk hingga rata.
4. Kemudian menuangkan phenyl isocyanate kedalam wadah dan diaduk hingga pencampuran homogen dan campuran menjadi berwarna terang.
5. Campuran tersebut dituangkan kedalam cetakan dan didiamkan selama 1 hari.
6. Specimen dikeluarkan dari cetakan.
7. Specimen disesuaikan dimensinya dengan standar pengujian.



**Gambar 3.8** Proses Blending Pembuatan Komposit

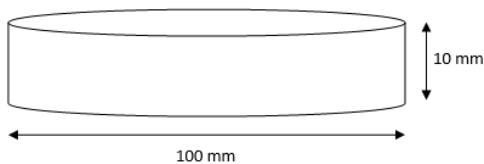
### 3.5.2 Proses Pengujian

Setelah specimen komposit selesai dibuat, maka dilakukan beberapa pengujian yang terdiri dari:



### 3.5.2.1 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara

Peralatan yang digunakan untuk mengukur koefisien absorpsi suara adalah tabung impedansi dengan standarisasi menurut ASTM E1050. Pengujian dilakukan di Laboratorium Akustik Material, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS. Dimensi spesimennya berbentuk tabung dengan diameter 100mm dan tinggi 10 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 berikut :



**Gambar 3.9** Dimensi Spesimen Uji Absorpsi Suara



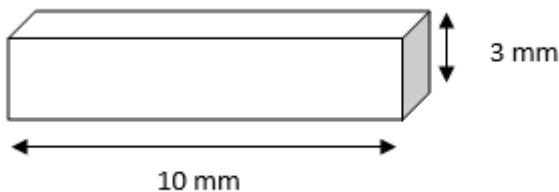
**Gambar 3.10** Alat Uji Absorpsi Suara

Pengujian absorpsi suara adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk menyerap suara. Kualitas material penyerap suara ditentukan dari harga  $\alpha$  (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi). Semakin besar nilai  $\alpha$  maka semakin baik kemampuan material tersebut dalam menyerap suara. Nilai  $\alpha$  berkisar dari 0 sampai 1. Jika  $\alpha$  bernilai 0 maka tidak ada bunyi yang diserap oleh material tersebut sedangkan jika  $\alpha$  bernilai 1 maka 100 % bunyi yang datang diserap oleh material tersebut.

Prinsip pengujian koefisien absorpsi suara adalah specimen yang berbentuk lingkaran dimasukkan ke dalam bagian kepala tabung impedansi kemudian diatur frekuensi suara pada amplifier dengan frekuensi 125 – 5000 Hz maka speaker akan memberikan suara ke dalam tabung impedansi dan sound level meter.

#### 3.5.2.2 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi dengan alat inspect S-50 . Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Standar yang digunakan adalah ASTM E2809. Specimen uji berbentuk balok kecil berukuran 10x10x3 mm.

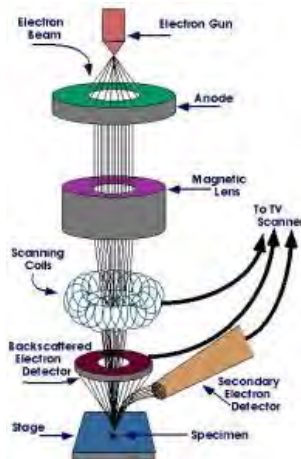


**Gambar 3.11** Dimensi Spesimen SEM



**Gambar 3.12** Spesimen SEM

Prinsip kerja dari SEM adalah dengan adanya sebuah pistol elektron yang memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Kemudian terdapat lensa magnetik yang berfungsi untuk memfokuskan elektron menuju ke sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT). Lebih jelas mengenai prinsip kerja SEM ditunjukkan oleh skema berikut:

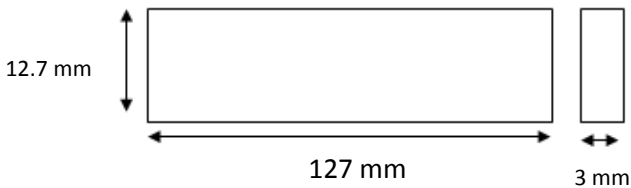


**Gambar. 3.11** Prinsip Kerja SEM

### 3.5.2.3 Pengujian Kelenturan

Nilai kelenturan digunakan untuk menunjukkan kekakuan dari suatu material ketika dibengkokkan. Pengujian kelenturan ini dilakukan dengan metode three point bend Shimadzu AG-10TE di Laboratorium Farmasi Unair. Specimen diletakkan pada kedua tumpuan dan dilakukan pembebanan ditengah specimen.

Prosedur pengujian berdasarkan Standar ASTM D790 dimana dimensi specimen yang diuji ialah sebesar 127x12.7x3 mm yang ditunjukkan oleh gambar berikut:



**Gambar 3.13** Dimesi Uji Kelenturan



**Gambar 3.14** Spesimen Uji Kelenturan

Kekuatan lentur suatu material dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_f = (3 PL / 2 bd^2) \quad (3.1)$$

Keterangan:

$\sigma_f$  = Kekuatan Lentur (MPa)

L = Support Span (mm)

P = Beban Patah (N)

b = Lebar Spesimen (mm)

d = Tebal Spesimen (mm)

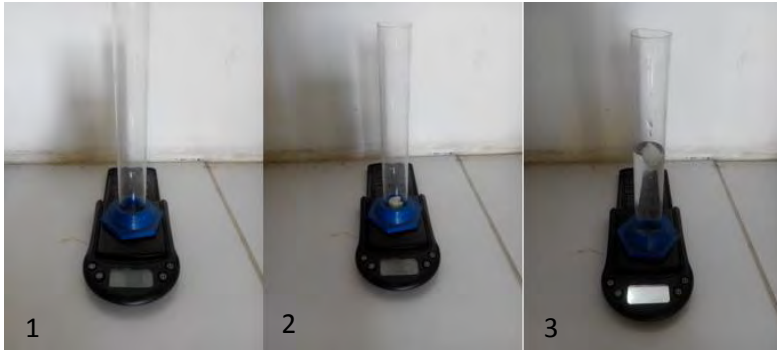
#### **3.5.2.4 Uji FTIR**

Pada penentuan senyawa yang terdapat pada polyurethane A dan polyurethane B perlu dilakukan uji FTIR untuk mengetahui kandungan dan jenis polyol dan isocyanate yang berada diproduk tersebut. FTIR dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. Bahan yang dilakukan uji FTIR adalah polyurethane A, polyurethane B, PU (40PPG:60PPI), PU (50PPG:50PPI), komposit PU (40PPG:60PPI)-2.5%K, serat kelapa alkali

#### **3.5.2.5 Uji Densitas**

Pengujian dilakukan dengan perhitungan massa dan volume dari masing-masing spesimen komposit dengan menggunakan prinsip Archimedes. Massa dari gelas ukur, gelas ukur dan sample, gelas ukur, sample dan air dihitung lalu didapatkan massa dan volume sample sehingga dapat diketahui massa jenis sample.

Prosedur pengujian densitas ditunjukkan oleh Gambar 3.15. Gambar 3.15 (1) menunjukkan penimbangan massa gelas ukur kosong, gambar 3.15 (2) penimbangan massa gelas ukur dan sample dan gambar 3.15 (3) menunjukkan penimbangan massa gelas ukur, sample dan air.



**Gambar 3.15** Pengujian Densitas

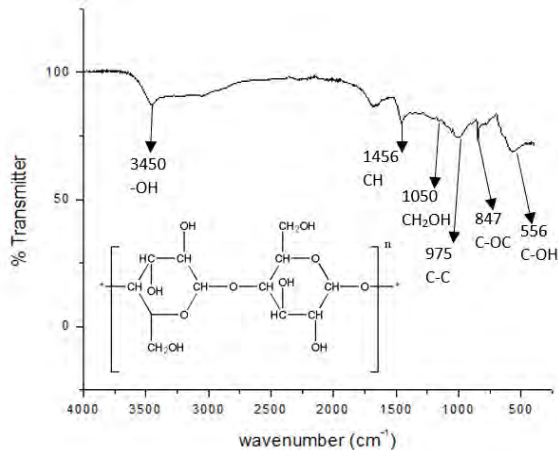
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

##### 4.1.1 Analisa Hasil FTIR Serat Kelapa Alkali

Serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat kelapa. Gambar 4.6 menunjukkan hasil uji FTIR serat kelapa yang telah dialkalisasi. Dari hasil pengujian didapatkan identifikasi adanya peregangan dari ikatan O-H gugus alkana dengan puncak gelombang pada  $3450\text{ cm}^{-1}$ . Sementara ikatan antara C dengan OH di gugus hidroksil terjadi pada puncak gelombang  $556\text{ cm}^{-1}$ . Selanjutnya pada puncak gelombang  $1456\text{ cm}^{-1}$  terjadi penyerapan gelombang yang menyebabkan deformasi regang pada ikatan C-H. Pada puncak gelombang  $1050\text{ cm}^{-1}$  terjadi penyerapan pada ikatan  $\text{CH}_2\text{OH}$  dari gugus alkali yang berdekatan dengan ikatan C-C pada puncak  $975\text{ cm}^{-1}$ . Terjadi penyerapan gelombang regang C-O-C yang pada struktur kimia menghubungkan antara gugus satu dengan yang lainnya yang diidentifikasi pada puncak gelombang  $847\text{ cm}^{-1}$ .



**Gambar 4.5** Hasil Uji FTIR Serat Kelapa Alkalisasi

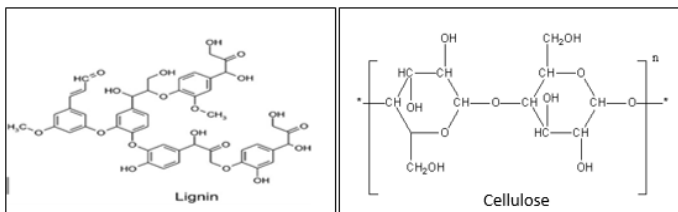
**Tabel 4.1** Daerah Serapan Infra Merah Serat Kelapa Alkalisasi

Daerah Serapan	Ikatan	Gugus
556	C-OH	Hidroksil
847	C-OC	Eter
975	C-C	Alkane
1050	CH <sub>2</sub> OH	hidroksimetil
1456	CH	Alkane
3450	OH	Hidroksil

Pada dasarnya hasil uji FTIR serat kelapa alkali bertujuan untuk mengetahui senyawa yang terkandung pada serat setelah dilakukan proses alkalisasi. Proses alkalisasi dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antar muka yaitu lignin. Dengan adanya lignin maka matriks dan serat tidak memiliki antar muka yang baik, kekerasan permukaan menurun dan menghasilkan mechanical interlocking yang kurang baik. (Maryanti B, 2011) Oleh karena itu proses alkalisasi diperlukan untuk memodifikasi permukaan serat kelapa dan menghilangkan lignin sehingga hanya terdapat selulosa.

Gambar 4.7 menunjukkan struktur kimia dari lignin maupun selulosa. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada lignin terdapat gugus -OCH<sub>3</sub> yang tidak dimiliki oleh selulosa. Gugus -OCH<sub>3</sub> memiliki puncak gelombang sebesar 2860-3000 cm<sup>-1</sup>. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa tidak diidentifikasi puncak gelombang pada wavenumber 2860-3000 cm<sup>-1</sup>. Atas dasar itulah dapat diasumsikan bahwa serat pada pengujian ini telah mengalami proses alkalisasi yaitu penghilangan komponen lignin dari serat kelapa dinyatakan berhasil



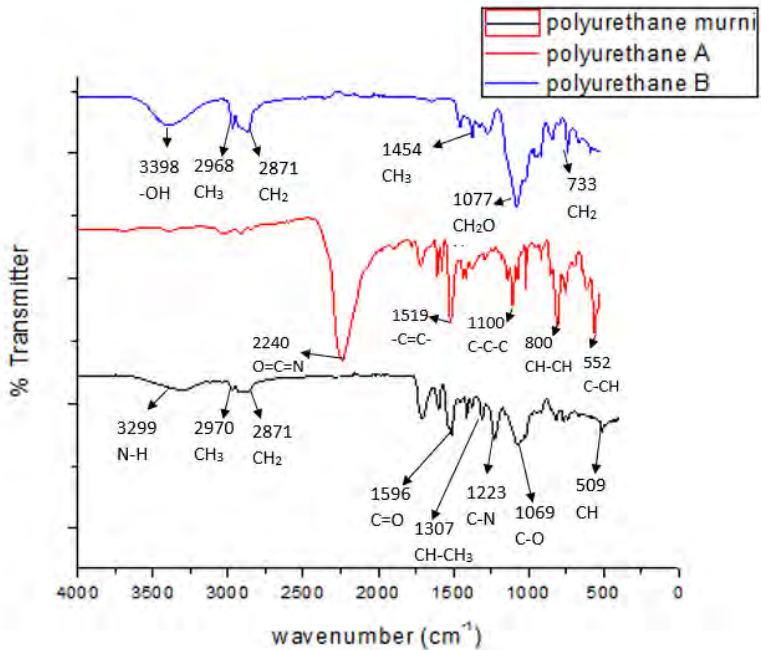


**Gambar 4.6** Struktur kimia lignin dan selulosa (Chen H. 2014)

#### 4.1.2 Analisa Hasil FTIR Polyurethane

Proses pembuatan polyurethane dilakukan dengan mencampurkan antara isocyanate dan polyol. Di pasaran polyurethane dijual dalam 2 produk yaitu polyurethane A dan polyurethane B. Polyurethane A merupakan isocyanate dan polyurethane B adalah polyol.

Gambar 4.7 menunjukkan hasil uji FTIR penyusun polyurethane dan polyurethane murni. Pada Tabel 4.2 polyurethane A didapatkan bahwa terjadi ikatan regang  $\text{O}=\text{C}=\text{N}$  pada puncak gelombang rendah di  $2240\text{ cm}^{-1}$ , ikatan inilah yang menjadi dasar utama bahwa polyurethane A merupakan isocyanate. Selanjutnya pada puncak gelombang  $1819\text{ cm}^{-1}$  juga terlihat adanya penyerapan gelombang untuk ikatan  $-\text{C}=\text{C}-$  dan ikatan  $\text{C}-\text{C}-\text{C}$  di gelombang  $1100\text{ cm}^{-1}$ . Pada bilangan gelombang  $800\text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi terjadi penyerapan gelombang  $\text{CH}$  double bond. Dan pada bilangan gelombang  $552\text{ cm}^{-1}$  terjadi vibrasi regang pada ikatan  $\text{C}=\text{CH}$  pada gugus aromatic isocyanate.

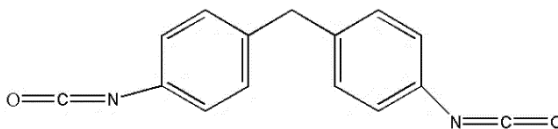


**Gambar 4.7** Hasil Uji FTIR polyurethane

**Tabel 4.2** Daerah Serapan Infra Merah Polyurethane A

Daerah Serapan	Ikatan	Gugus
552	C-CH	Benzena
800	CH-CH	Benzena
1100	C-C-C	Benzena
1519	-C=C-	Benzena
2240	O=C=N	Isocyanate

Berdasarkan hasil FTIR pada polyurethane A dapat diketahui bahwa polyurethane A merupakan isocyanate dengan jenis polyphenyl isocyanate dan struktur kimia ditunjukkan oleh gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Struktur kimia PolyPhenyl Isocyanate

Sementara polyurethane B teridentifikasi sebagai polypropylene Glycol. Pada grafik polyurethane B pada Tabel 4.3 diketahui bahwa pada puncak gelombang tinggi sebesar  $3398\text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi regang pada ikatan OH yang merupakan identifikasi utama bahwa polyurethane B merupakan polyol. Selanjutnya terdapat penyerapan gelombang regang pada bilangan puncak  $1454\text{ cm}^{-1}$  dan  $2968\text{ cm}^{-1}$  untuk ikatan  $\text{CH}_3$  serta pada puncak  $733\text{ cm}^{-1}$  dan  $2871\text{ cm}^{-1}$  terdeteksi gelombang ikatan  $\text{CH}_2$ . Selain itu terdapat puncak gelombang terendah yang teridentifikasi menyebabkan peregangan ikatan  $\text{CH}_2\text{OH}$  pada bilangan gelombang  $1077\text{ cm}^{-1}$ .

**Tabel 4.3** Daerah Serapan Infra Merah Polyurethane B

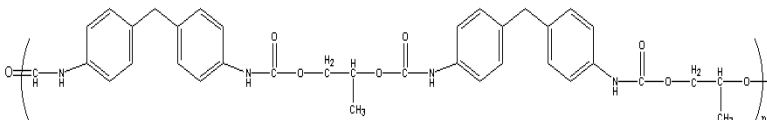
Daerah Serapan	Ikatan	Gugus
733 & 2871	$\text{CH}_2$	Alkane
1077	$\text{CH}_2\text{OH}$	Hidroksimetil
1454 & 2968	$\text{CH}_3$	Alkana
3398	-OH	Hidroksil

Setelah diketahui senyawa dari polyurethane A dan B, selanjutnya perlu dianalisa hasil uji FTIR hasil polyurethane murni. Tabel 4.4 polyurethane murni menunjukkan adanya identifikasi penyerapan gelombang rendah ikatan CH pada puncak gelombang sebesar  $509\text{ cm}^{-1}$ . Lalu terdapat ikatan  $\text{CH}_2$  dan  $\text{CH}_3$  pada puncak gelombang berturut-turut  $2871\text{ cm}^{-1}$  dan  $2970\text{ cm}^{-1}$ . Selain itu pada puncak gelombang  $1307\text{ cm}^{-1}$  teridentifikasi terjadi vibrasi gelombang ikatan  $\text{CH}-\text{CH}_3$ , serta  $\text{C}=\text{O}$  pada  $1596\text{ cm}^{-1}$

**Tabel 4.4** Daerah Serapan Infra Merah Polyurethane Murni

Daerah Serapan	Ikatan	Gugus
509	C-H	Alkane
1223	C-N	Nitril
1307	CH-CH <sub>3</sub>	Alkane
1596	C=O	Keton
1069	C-O	Alkana
2871	CH <sub>2</sub>	Alkane
2970	CH <sub>3</sub>	Alkane
3299	N-H	Amino

Polyurethane terbentuk dari reaksi antara senyawa polyphenyl Isocyanate dan propylene Glycol yang akan menghasilkan gugus ikatan N-H, C-N dan C-O. Hal tersebut teridentifikasi pada hasil FTIR dimana pada bilangan gelombang sebesar 3299 cm<sup>-1</sup> terdapat vibrasi regang ikatan N-H, pada puncak gelombang 1223 cm<sup>-1</sup> terjadi penyerapan gelombang C-N dan pada Gelombang 1069 terjadi vibrasi regang ikatan C-O. Reaksi kimia yang terjadi terlihat pada struktur kimia polyurethane yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dibawah ini.

**Gambar 4.9** Struktur kimia polyurethane murni.

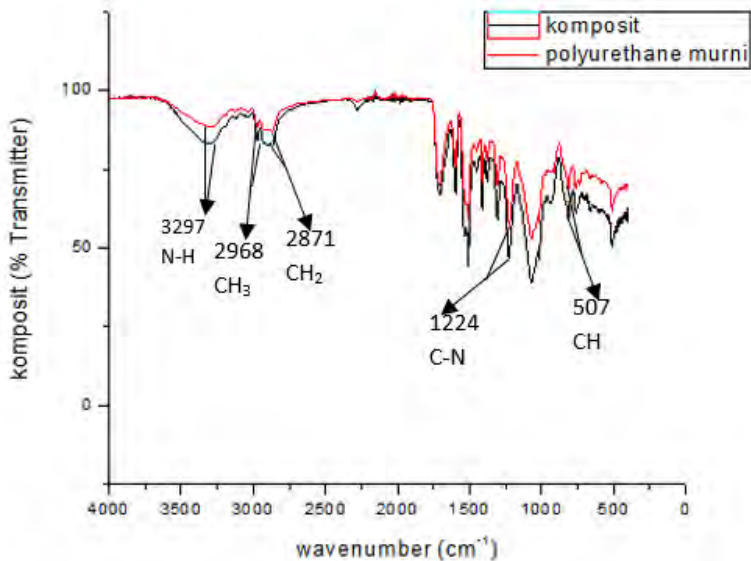
Dari gambar tersebut terlihat muncul ikatan N-H dan C-N yang teridentifikasi pada hasil uji FTIR polyurethane murni. Dapat disimpulkan bahwa pencampuran antara isocyanate dan polyol menghasilkan reaksi polyurethane.

#### 4.1.3 Analisa Hasil FTIR Komposit Kelapa Alkali

Komposit merupakan material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang disatukan dan tidak membentuk

senyawa. Pengujian hasil FTIR komposit kelapa alkali bertujuan untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam komposit serat kelapa dan untuk mengetahui tidak terjadi reaksi kimia antara matriks dan filler.

Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan antara komposit serat kelapa alkali dan polyurethane murni sebagai matriks. Grafik keduanya memiliki gelombang yang hamper sama. Hal tersebut dapat mengindikasikan tidak terjadi reaksi antara serat kelapa alkali dan polyurethane sehingga dapat menghasilkan komposit serat kelapa alkali.



**Gambar 4.10** Perbandingan hasil uji FTIR komposit serat kelapa dan polyurethane murni

**Tabel 4.5** Daerah Serapan Infra Merah Komposit Serat Kelapa

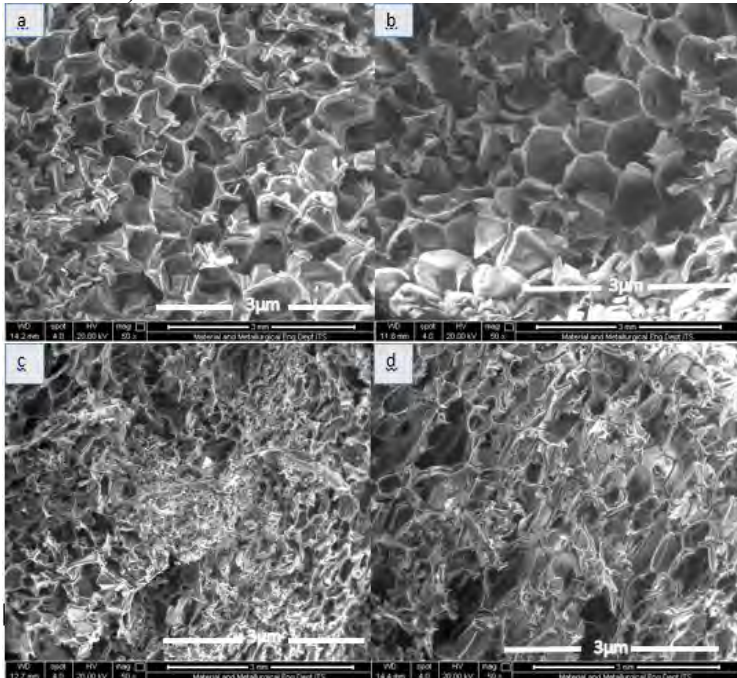
Daerah Serapan	Ikatan	Gugus
507	C-H	Alkane
1306	C-N	Nitril
2871	CH <sub>2</sub>	Alkane
2968	CH <sub>3</sub>	Alkane
3297	N-H	Amino

#### 4.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

Morfologi dari polyurethane murni dan serat kelapa alkali ditunjukkan dengan fotomikrograph *Scanning Electron Microscope*. Hasil morfologi ini dilakukan di laboratorium karaterisasi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Specimen uji SEM dibuat dengan dimensi 10x10x10 mm lalu dilapisi coating AuPd setelah itu dimasukkan kedalam alat uji SEM.

Gambar 4.11 menunjukkan hasil SEM dengan perbesaran 50x. Pada pengamatan SEM tersebut terlihat bahwa morfologi yang dihasilkan anisotropic secara keseluruhan. Gambar 4.11(a) menunjukkan hasil SEM PU (40PPI:60PPG) tanpa pertambahan serat kelapa terlihat bahwa morfologi yang dihasilkan memiliki sel pori tertutup dengan pori berukuran kecil. Gambar 4.11(b) menunjukkan hasil SEM PU (50PPI:50PPG) tanpa pertambahan serat kelapa, terlihat bahwa sel pori yang dihasilkan lebih besar dari PU (40PPI:60PPG). Gambar 4.11(c) menunjukkan hasil SEM PU Komposit (40PPI:60PPG) dengan pertambahan serat kelapa 7.5%. terlihat bahwa penambahan serat kelapa memberikan perubahan struktur morfologi pada komposit. pori menyusut menjadi sangat kecil dan tidak beraturan. Hasil yang sama ditunjukkan oleh gambar 4.11(d). Gambar 4.11(d) menunjukkan hasil SEM Komposit PU (50PPI:50PPG) dengan pertambahan 7.5% serat kelapa alkali. Terlihat bahwa pertambahan serat memberikan perubahan morfologi komposit, pori menjadi lebih menyusut dan

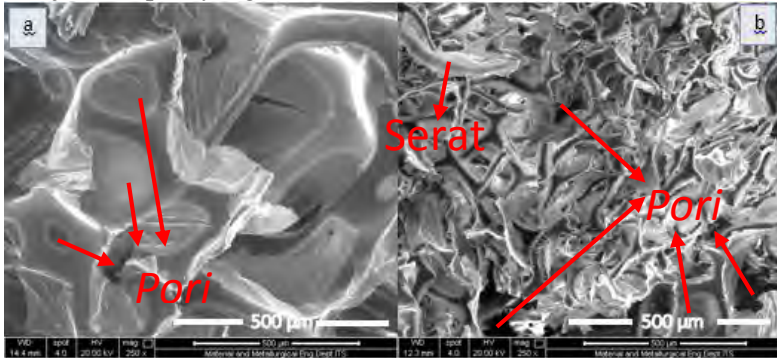
mengecil meski pori yang dihasilkan lebih besar dari Gambar 4.11(c). Hal tersebut dikarenakan PU (50PPI:50PPG) murni memiliki ukuran pori yang lebih besar dibanding PU (40PPI:60PPG).



**Gambar 4.11** Hasil Uji SEM (a) PU (40PPI:60PPG), (b) PU (50PPI:50PPG) (c)Komposit PU (40PPI:60PPG)-7.5%K (d) Komposit PU (50PPI:50PPG)-7.5%K

Gambar 4.12 menunjukkan hasil SEM dengan perbandingan 250x. Gambar 4.12(a) menunjukkan hasil SEM PU (40PPI:60PPG) dan Gambar 4.12(b) menunjukkan hasil SEM Komposit PU (40PPI:60PPG)-7.5% Serat Kelapa Alkali. Pada Gambar 4.12(a) terlihat bahwa pori yang dihasilkan memiliki dimensi yang besar namun pada gambar 4.12(b) setelah penambahan 7.5% serat kelapa, pori menjadi menyusut dan tidak

beraturan bahkan pori cenderung tertutupi oleh dinding-dinding pori yang menyusut. Pada gambar 4.12(b) pula terlihat serat kelapa alkali secara samar disebabkan ukuran serat yang kecil sebesar 250-450  $\mu\text{m}$ .. Hasil observasi SEM ini pun terjadi pada penelitian Chen Wan Shan (2008), Verdejo (2009) dan L.Ting (2011) bahwa dengan adanya filler cenderung memodifikasi mikrostruktur PU menjadi sel pori yang lebih kecil.

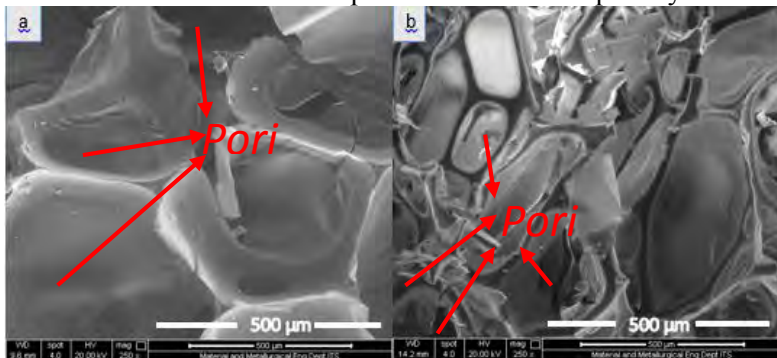


**Gambar 4.12** Hasil SEM (a) PU (40:PPI:60PPG) dan (b) PU (40:PPI:60PPG)-7.5%K dengan perbesaran 250x.

Gambar 4.13 menunjukkan hasil dengan perbesaran 250x. Gambar 4.13(a) menunjukkan hasil PU (50PPI:50PPG) tanpa pertambahan serat terlihat bahwa pori yang dihasilkan memiliki dimensi yang besar namun pori tertutup oleh membrane yang cukup rapuh. Tren yang sebelumnya terjadi pada gambar 4.12 pula terjadi pada gambar 4.13(b). Terlihat bahwa pertambahan serat kelapa membuat pori semakin mengecil meski pada komposit PU (50PPI:50PPG) masih terdapat pori berstruktur dibandingkan komposit PU (40PPI:60PPG). Pada Gambar 4.12(b) komposit PU (50PPI:50PPG)-7.5%K tidak teridentifikasi serat kelapa, hal tersebut dapat diakibatkan karena dimensi serat yang terlalu kecil sehingga terlihat menyatu dengan menyusutnya pori komposit. Selain itu fraksi massa serat yang sedikit (2.5%-7.5%) membuat serat sulit untuk diobservasi. Pemilihan fraksi massa serat pada nilai tersebut dikarenakan komposit berpori tidak mengembang



sempurna ketika fraksi massa lebih dari 7.5% kecuali ditambahkan kembali PU kedalam komposit. Hal ini disebabkan karena penambahan filler meningkatkan viskositas pada campuran selama proses *foaming*. (R.Verdojo, dkk. 2009). Tidak teridentifikasinya serat pada hasil SEM komposit juga terjadi pada penelitian Chan Wen Shan dkk (2012) bahwa dengan penambahan serat sebanyak 2.5% tidak terobservasi serat pada hasil SEM kompositnya.



**Gambar 4.13** Hasil SEM (a) PU (50PPI:50PPG) dan (b) komposit PU (50PPI:50PPG)-7.5%K dengan perbesaran 250x

### 4.3 Koefisien Absorpsi Suara

Pengujian koefisien absorpsi dilakukan sesuai dengan standar metode ASTM E1050 tentang pengujian material akustik. Pengujian dilakukan di Laboratorium Vibrastic Teknik Fisika FTI ITS. Perangkat yang digunakan meliputi dua mikrofon, amplifier, tabung impedansi B&K 4206, *pulse multi analyzer*, dan laptop. Specimen dipasang dalam tabung impedansi dengan posisi melintang menggunakan penyangga plastisin. Kemudian dipancarkan gelombang suara dengan frekuensi rendah hingga frekuensi tinggi. Gelombang yang datang dari mikrofon diserap oleh permukaan specimen dan ditangkap kembali oleh mikrofon yang kedua. Hasil dari gelombang suara yang datang dan tertangkap kemudian dianalisis untuk mendapatkan fungsi respon frekuensi. Nilai koefisien absorpsi suara kemudian diolah oleh software pulse 4.6 dan disajikan dalam bentuk nilai alfa. Semakin

besar nilai  $\alpha$  maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai  $\alpha$  memiliki range 0 sampai 1.

Hasil pengujian absorpsi suara yang telah dilakukan ditunjukkan oleh tabel 4.6 berikut:

**Tabel 4.6** Hasil Pengujian Absorpsi Suara

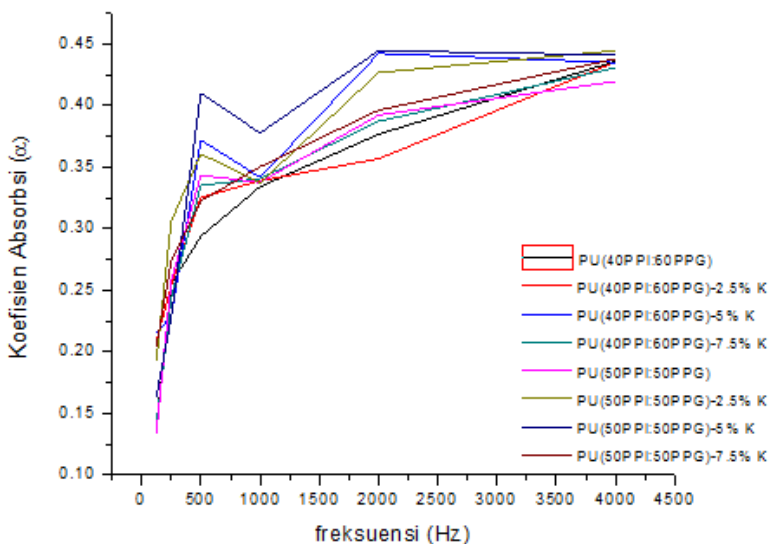
Frekuensi (Hz)	PU (40PPI:60PPG)				PU (50PPI:50PPG)			
	Murni	2.5%	5%	7.5%	Murni	2.5%	5%	7.5%
125	0.138	0.208	0.215	0.141	0.134	0.193	0.163	0.204
250	0.254	0.253	0.228	0.244	0.257	0.306	0.228	0.274
500	0.293	0.325	0.371	0.334	0.343	0.360	0.409	0.322
1000	0.334	0.338	0.341	0.340	0.337	0.337	0.377	0.350
2000	0.376	0.356	0.442	0.387	0.392	0.426	0.444	0.396
4000	0.435	0.435	0.434	0.430	0.419	0.444	0.441	0.437

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa  $\alpha$  tertinggi tercapai pada frekuensi tinggi. Hal tersebut dapat terjadi karena secara umum kapasitas absorpsi PU berada pada frekuensi tinggi dan relative rendah pada frekuensi rendah disebabkan karena rendahnya kapasitas peredaman energy suara. (Liu Ting dkk, 2011).

Gambar 4.14 menunjukkan grafik koefisien absorpsi suara. Dari grafik yang dihasilkan dapat disimpulkan jenis absorpsi yang dihasilkan adalah porous absorber (Howard dan Angus, 2009). Dari grafik terlihat bahwa pada PU (40PPI:60PPG) ketika penambahan serat meningkatkan nilai  $\alpha$  kecuali pada fraksi massa 2.5% serat kelapa. Hal tersebut dapat dijelaskan dari komposit PU (40PPI:60PPG)-2.5%K yang memiliki nilai densitas lebih tinggi dari PU murni. Pertambahan densitas itu dapat menjadi penyebab berkurangnya nilai  $\alpha$  dari PU murni. Densitas pori PU akan meningkat ketika ada pertambahan fraksi yang menyebabkan ukuran pori mengecil. (Chan Wen Shan, 2012). Menyusutnya pori dapat menurunkan kemampuan material dalam mengabsorpsi suara.

Sementara pada Gambar 4.14 untuk PU (50PPI:50PPG) menunjukkan bahwa pertambahan serat meningkatkan nilai  $\alpha$  dari

PU murni. Pertambahan nilai  $\alpha$  yang signifikan terjadi pada fraksi massa 5% serat kelapa alkali mencapai 0.444 pada frekuensi 2000Hz dan fraksi massa 2.5% mencapai nilai 0.444 pada frekuensi 4000Hz. Nilai  $\alpha$  pada PU (50PPI:50PPG) lebih baik daripada nilai  $\alpha$  pada PU (40PPI:60PPG), hal tersebut didukung oleh hasil SEM bahwa pori yang terbentuk pada PU (50PPI:50PPG) memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan PU (40PPI:60PPG).



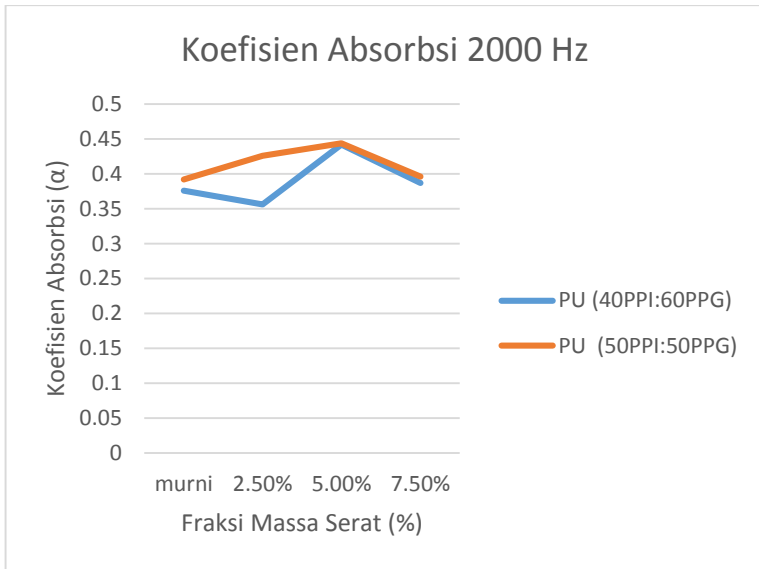
**Gambar 4.14** Hasil Uji Absorpsi Suara ( $\alpha$ )

Nilai  $\alpha$  rendah yang dihasilkan dari pengujian bertolak belakang dengan konsep bahwa material penyerap suara yang bagus memiliki struktur berpori. Meskipun matriks polyurethane merupakan material berpori, namun menurut penelitian S.Mahzan (2012) menyatakan bahwa semakin banyak presentase polyurethane dalam komposit serat kelapa dapat menurunkan koefisien absorpsi suara komposit serat kelapa. selain itu jenis rongga yang dihasilkan adalah closed-cell dimana koefisien

absorpsi suara PU closed cell lebih kecil dibanding koefisien absorpsi suara PU open cell. (Ancuta Elena, 2014). Selain itu terdapat faktor aspek rasio serat yang mempengaruhi nilai koefisien absorpsi suara suatu komposit. semakin tinggi nilai aspect ratio serat maka semakin bagus nilai koefisien absorpsi suatu komposit. pada penelitian ini menggunakan serat kelapa dengan ukuran 250-450  $\mu\text{m}$ , sehingga aspect ratio yang dihasilkan sangat kecil dan nilai koefisien absorpsi suara rendah.

Karakterisasi komposit serat kelapa ini digunakan untuk aplikasi muffler berjenis absorptif muffler. Absorptif muffler bekerja pada frekuensi tengah ke tinggi dengan range 2000Hz-6000Hz (Rolf Jebasinski, 2002).

Gambar 4.15 menunjukkan grafik koefisien absorpsi suara pada frekuensi 2000Hz. Terlihat bahwa PU (40PPI:60PPG) memiliki koefisien absorpsi suara sebesar 0.376, dengan adanya penambahan serat sebesar 2.5% menurunkan nilai  $\alpha$  menjadi 0.356. Ketika fraksi massa 5% nilai  $\alpha$  naik menjadi 0.442, namun saat fraksi massa mencapai 7.5% nilai  $\alpha$  kembali turun menjadi 0.387 meski tetap lebih besar dari nilai  $\alpha$  PU (40PPI:60PPG) murni. Sementara pada PU (50PPI:50PPG) murni nilai  $\alpha$  lebih besar dari PU (40PPI:60PPG) yaitu sebesar 0.392, penambahan serat dengan fraksi massa 2.5% menaikkan nilai  $\alpha$  menjadi 0.426 dan dengan penambahan fraksi massa 5% nilai  $\alpha$  menjadi 0.444, namun ketika penambahan fraksi massa 7.5% nilai  $\alpha$  turun menjadi 0.437 meski nilai tersebut lebih baik dibandingkan PU (50PPI:50PPG) murni. Nilai  $\alpha$  tertinggi dicapai oleh PU (50PPI:50PPG) dengan fraksi massa 5% sebesar 0.444.



**Gambar 4.15** Koefisien Absorpsi pada 2000Hz.

Pada hasil experiment Mylaudy D.R, 2015 menyatakan bahwa muffler absortif dengan glasswool pada ketebalan 0.022mm di frekuensi 2000 Hz memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0.32. dari nilai tersebut disimpulkan Komposit PU dapat menyaingi nilai koefisien absorpsi glasswool yang digunakan di muffler.

#### 4.4 Uji Bending

Komposit serat kelapa pada penelitian ini digunakan untuk aplikasi bahan penyerap suara pada muffler kendaraan bermotor. Pada konstruksinya, bahan penyerap suara ini digunakan menyelimuti pipa silencer pada muffler oleh karena itu diperlukan pengujian kekuatan lentur komposit serat kelapa.

Uji bending komposit serat dilakukan di laboratorium farmasi Univeritas Airlangga Surabaya.

Tabel 4.16 menunjukkan hasil uji bending serat kelapa dengan perbandingan penyusun PU (40PPI:60PPG). Diketahui bahwa nilai

kekuatan lentur polyurethane murni tanpa serat sebesar  $0.286 \pm 0.06$  Mpa. Ketika ditambahkan serat sebesar 2.5% kekuatan lentur meningkat menjadi  $0.325 \pm 0.1$  MPa. Pada fraksi serat 5% kekuatan lentur menjadi  $0.402 \pm 0.01$  MPa dan naik kembali sebesar  $0.468 \pm 0$  MPa ketika fraksi massa serat sebesar 7.5%.

**Tabel 4.16** Hasil Pengujian kekuatan lentur PU (40PPI:60PPG)

Fraksi massa serat (%)	Kekuatan Lentur (Mpa)
Murni	$0.286 \pm 0.06$
2.5	$0.325 \pm 0.1$
5	$0.402 \pm 0.01$
7.5	$0.468 \pm 0$

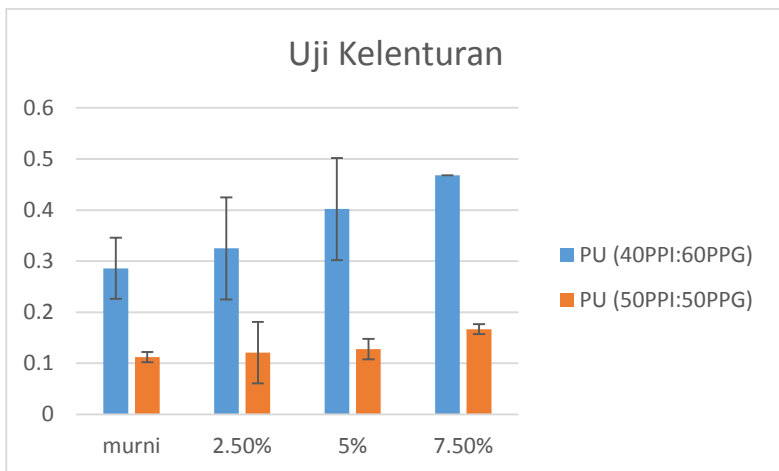
Tabel 4.17 menunjukkan hasil uji bending serat kelapa dengan perbandingan penyusun PU (50PPI:50PPG). Terlihat bahwa nilai kekuatan lentur terbesar terdapat pada polyurethane murni sebesar  $0.112 \pm 0.01$  MPa. Selanjutnya pada penambahan fraksi massa serat sebesar 2.5% terjadi kenaikan kekuatan lentur menjadi  $0.121 \pm 0.06$  MPa. Kemudian pada fraksi serat 5% nilai kekuatan lentur meningkat menjadi  $0.128 \pm 0.02$  MPa dan pada 7.5% menjadi  $0.167 \pm 0.01$  MPa

**Tabel 4.17** Hasil Pengujian kekuatan lentur PU (50PPI:50PPG)

Fraksi massa serat (%)	Kekuatan Lentur (MPa)
Murni	$0.112 \pm 0.01$
2.5	$0.121 \pm 0.06$
5	$0.128 \pm 0.02$
7.5	$0.167 \pm 0.01$

Gambar 4.16 menunjukkan grafik hasil uji bending komposit serat kelapa. Terlihat bahwa pada komposisi penyusun PU (50PPI:50PPG) memiliki nilai kekuatan lentur lebih rendah dibandingkan dengan komposisi penyusun PU (40PPI:60PPG). Hal tersebut disebabkan jumlah polyol yang terkandung pada PU (40PPI:60PPG) lebih banyak dibandingkan PU (50PPI:50PPG). Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 bahwa polyol memberikan sifat lunak pada polyurethane sehingga nilai kekuatan lentur PU (40PPI:60PPG) lebih tinggi.

Secara umum keduanya memiliki tren yang sama. Penambahan serat menurunkan nilai kekuatan lentur cukup signifikan. Hal tersebut disebabkan karena penambahan serat mengisi rongga pada polyurethane dan membuat rongga menjadi menyusut sehingga kekuatan mekanik dari komposit meningkat.



**Gambar 4.16** Hasil uji bending

#### 4.5 Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan cara menghitung massa dan volume dari masing-masing specimen dengan menggunakan prinsip Archimedes.

Tabel 4.3 berikut merupakan tabel hasil uji densitas yang dilakukan pada spesimen komposit serat kelapa. Pada komposisi penyusun PU (40PPI:60PPG) murni didapat densitas sebesar  $0.05 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ . Selanjutnya dengan fraksi massa 2.5% didapat densitas sebesar  $0.06 \pm 0 \text{ g/cm}^3$ , kemudian pada fraksi massa 5% densitas menjadi  $0.08 \pm 0.015 \text{ g/cm}^3$  dan pada 7.5% naik menjadi  $0.11 \pm 0.0099 \text{ g/cm}^3$ . Sementara pada komposisi penyusun PU (50PPI:50PPG) diketahui bahwa PU (50PPI:50PPG) murni memiliki densitas yang lebih tinggi yaitu  $0.07 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ . Penambahan serat sebesar 2.5% menaikkan densitas menjadi  $0.08 \pm 0.0006 \text{ g/cm}^3$ , ketika fraksi massa bertambah menjadi 5% densitas pun naik menjadi  $0.10 \pm 2.39 \times 10^{-14} \text{ g/cm}^3$  dan pada 7.5% menjadi  $0.14 \pm 0.0099 \text{ g/cm}^3$ .

**Tabel 4.18 Hasil Uji Densitas**

Fraksi Massa Serat (%)	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )	
	PU (40PPI:60PPG)	PU (50PPI:50PPG)
Murni	$0.05 \pm 0.02$	$0.07 \pm 0.02$
2.5%	$0.06 \pm 0$	$0.08 \pm 0.0006$
5%	$0.08 \pm 0.015$	$0.10 \pm 2.39 \times 10^{-14}$
7.5%	$0.11 \pm 0.0099$	$0.14 \pm 0.0099$

Secara keseluruhan densitas yang dihasilkan memiliki kecenderungan bertambah seiring dengan pertambahan serat. Hal tersebut dibuktikan oleh hasil SEM bahwa pertambahan serat mempengaruhi struktur pori menjadi menyusut dan mengecil. Oleh karena itu dengan bertambahnya serat maka densitas komposit pun meningkat.

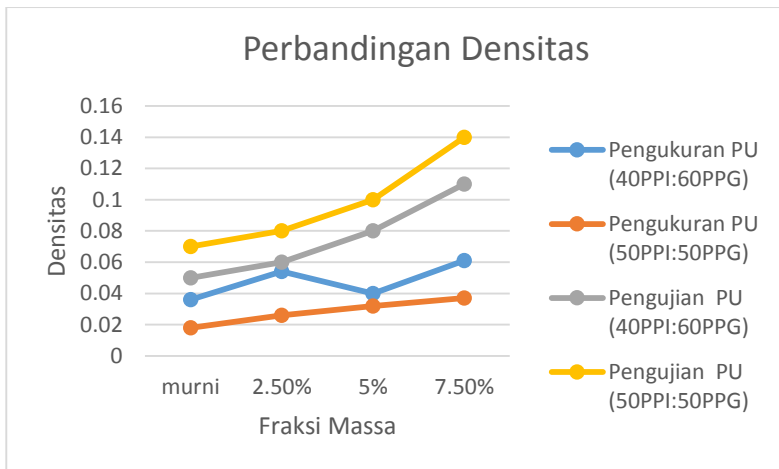
Hasil uji densitas diatas didapat dari massa dan volume komposit hasil pengujian dengan prinsip Archimedes. Sementara metoda lain yang dapat digunakan adalah dengan mengukur massa dan volume masing-masing komposit secara manual. Data yang dihasilkan ditunjukkan oleh Tabel 4.19.



**Tabel 4.19** Hasil Pengukuran Densitas

Fraksi Serat (%)	Massa	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )	
		PU (40PPI:60PPG)	PU (50PPI:50PPG)
Murni		0.036	0.018
2.5%		0.054	0.026
5%		0.04	0.032
7.5%		0.061	0.037

Gambar 4.17 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran dan pengujian densitas. Terlihat bahwa densitas pada hasil pengujian memiliki nilai yang lebih tinggi daripada hasil pengukuran densitas. Selain itu hasil pada pengujian densitas untuk PU (50PPI:50PPG) memiliki nilai lebih tinggi daripada PU (40PPI:60PPG) sementara pada hasil pengukuran nilai PU (50PPI:50PPG) lebih rendah daripada PU (40PPI:60PPG).



**Gambar 4.17** Perbandingan densitas PU (40PPI:60PPG) dan PU (50PPI:50PPG)

*(Halaman sengaja dikosongkan)*

## **LAMPIRAN A**

### **PERHITUNGAN**

#### **Massa Jenis Serat kelapa.**

$P = \text{Massa} / \text{Volume}.$

Volume silinder :  $3.14r^2t$

Keterangan :

Massa dalam gr

r dalam cm

t dalam cm

Diketahui:

Massa: 2.163 gr

r : 0.73cm

t : 1.156 cm

$P = 2.163 / 3.14 \times 0.73^2 \times 1.156$

$= 1.18 \text{ gr/cm}^3$

#### **Perhitungan Komposisi**

Massa Komposit : 20 gr

A. 2.5% serat

Serat :  $2.5\% \times 20 \text{ gr} = 0.5 \text{ gr}$

Polyurethane:  $20\text{gr} - 0.5 \text{ gr} = 19.5\text{gr}$

- isocyanate 40 : polyol 60

isocyanate :  $40/100 \times 19.5 \text{ gr} = 7.8\text{gr}$

polyol :  $60/100 \times 19.5 \text{ gr} = 11.7 \text{ gr}$

- isocyanate 50: polyol 50

isocyanate :  $50/100 \times 19.5 \text{ gr} = 9.75 \text{ gr}$

polyol :  $50/100 \times 19.5 \text{ gr} = 9.75 \text{ gr}$

B. serat 5%

Serat :  $5\% \times 20 \text{ gr} = 1 \text{ gr}$

Polyurethane:  $20\text{gr} - 1 \text{ gr} = 19 \text{ gr}$

- isocyanate 40 : polyol 60

isocyanate :  $40/100 \times 19 \text{ gr} = 7.6 \text{ gr}$

polyol :  $60/100 \times 19 \text{ gr} = 11.4 \text{ gr}$

- isocyanate 50: polyol 50

isocyanate :  $50/100 \times 19 \text{ gr} = 9.5 \text{ gr}$

polyol :  $50/100 \times 19 \text{ gr} = 9.5 \text{ gr}$

C. serat 7.5%

Serat :  $7.5\% \times 20 \text{ gr} = 1.5 \text{ gr}$

Polyurethane:  $20\text{gr} - 1.5 \text{ gr} = 18.5\text{gr}$

- isocyanate 40 : polyol 60

isocyanate :  $40/100 \times 18.5 \text{ gr} = 7.4 \text{ gr}$

polyol :  $60/100 \times 18.5 \text{ gr} = 11.1 \text{ gr}$

- isocyanate 50: polyol 50

isocyanate :  $50/100 \times 18.5 \text{ gr} = 9.25 \text{ gr}$

polyol :  $50/100 \times 18.5 \text{ gr} = 9.25 \text{ gr}$


## LAMPIRAN B

### HASIL PENGUJIAN

#### Hasil Pengujian Absorpsi Suara

PU (40PPI:60PPG

-Murni



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 23/PRO/VIBRATIC/VI/16

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

**SURAT KETERANGAN**

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen PU 40:60 dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 22.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 4 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:


**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.138814
250	0.254813
500	0.293778
1000	0.334018
2000	0.376577
4000	0.435759

**Kesimpulan**

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

  
Dr. Dhanv Arifianto ST, M.Eng  
NIP. 19731007 199802 1 001

Laboratorium Vibrasi dan Akustik  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

## -2.5% Serat



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 25/PRO/VIBRATIC/VI/16

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen PUX + CF 2,5% dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 22.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 3,5 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.208052
250	0.253742
500	0.325383
1000	0.338816
2000	0.356698
4000	0.435234

### Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng  
NIP. 19731007 199802 1 001

Laboratorium Vibrasi dan Akustik  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

## -5% Serat



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 26/PRO/VIBRATIC/VI/16

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen PUX + CF 5% dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 22.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 4 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.215468
250	0.228992
500	0.371913
1000	0.341582
2000	0.442122
4000	0.434737

### Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Dr. Dhany Arifianto ST, M Eng  
NIP. 19731007 199802 1 001

Laboratorium Vibrasi dan Akustik  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



## -7.5% Serat



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 27/PRO/VIBRATIC/VI/16  
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen PUX + CF 7,5% dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 22.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 5 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.14088
250	0.24414
500	0.334968
1000	0.340477
2000	0.387032
4000	0.430533

### Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng  
NIP. 19731007 199802 1 001

Laboratorium Vibrasi dan Akustik  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

## PU (50PPI:50PPG)

-Murni



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 24/PRO/VIBRASTIC/VI/16

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen PU 50:50 dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 22.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 1,5 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.134574
250	0.257596
500	0.343278
1000	0.337514
2000	0.392144
4000	0.419483

### Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Dr. Dhanv Arifianto ST, M.Eng  
NIP. 19731007 199802 1 001

Laboratorium Vibrasi dan Akustik  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

## -2.5% Serat



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 17/PRO/VIBRATIC/VI/16  
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen PU + CF 2,5% alkali dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 22.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 3,5 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.193223
250	0.306088
500	0.360621
1000	0.363715
2000	0.426572
4000	0.444444

### Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Dr. Dhany Arifianto ST, M Eng  
NIP. 197310071998021001  
Laboratorium Vibrasi dan Akustik  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

## -5% Serat



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 19/PRO/VIBRASTIC/VL/16

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen PU + CF 5% alkali dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 22.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 3,5 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.163563
250	0.228275
500	0.409936
1000	0.377549
2000	0.444444
4000	0.440932

### Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng  
NIP. 197310071998021001

Laboratorium Vibrasi dan Akustik  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

## -7.5% Serat



Surabaya, 05 Juni 2016

No : 21/PRO/VIBRATIC/VI/16  
Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

### SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen PU + CF 7,5% alkali dari mahasiswa jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS yang dilakukan pada Jum'at, 03 Juni 2016 pukul 22.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan tinggi = 3 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel Alpha Material Spesimen Uji**

Frekuensi(Hz)	Alpha
125	0.204481
250	0.273756
500	0.322384
1000	0.350154
2000	0.396176
4000	0.437689

### Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa suara keras yang berasal dari ruangan yang menggunakan spesimen tersebut masih kurang dalam menyerap bunyi dan mengganggu daerah yang berada diluar ruang tersebut.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Vibrasi & Akustik Teknik Fisika- ITS

Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng  
NIP. 19731007 199802 1 001

Laboratorium Vibrasi dan Akustik  
Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Hasil Uji Bending

PU	% Serat	P (N )	L (m m)	b (mm)	d (m m)	Kekuatan Lentur (Mpa)	Sde v	Kekuat an lentur (Mpa)
50:50	Mur ni	1	56	10	9	0.103703704	0.02	0.116
		1	56	10	9	0.103703704		
		1.5	56	11	9	0.141414141		
	2.50 %	1	78	12	7	0.198979592	0.06	0.127
		0.5	78	12	7	0.099489796		
		0.5	78	14	7	0.085276968		
	5%	0.5	78	10	6	0.1625	0.02	0.128
		1	78	13	9	0.111111111		
		1	78	13	9	0.111111111		
	7.50 %	1	78	15	7	0.159183673	0.01	0.167
		1	78	13	7	0.183673469		
		1	78	15	7	0.159183673		

PU	% Serat	P (N)	L(m m)	b (m m)	d (m m)	Kekuatan Lentur (Mpa)	Sdev	Kekuatan lentur (Mpa)
40:60	murni	1	54	14	5	0.231428571	0.06	0.286
		1.5	48	12	5	0.36		
		1	97	15	6	0.269444444		
	2.50%	0.5	78	12	5	0.195	0.11	0.325
		1	78	12	5	0.39		
		1	78	12	5	0.39		
	5%	1	78	10	6	0.325	0.10	0.402
		1	78	9	5	0.52		
		1	78	9	6	0.361111111		
	7.50%	1	78	10	5	0.468	0	0.468
		1	78	10	5	0.468		
		1	78	10	5	0.468		

### Hasil Uji Densitas

Komposisi Pengusun		murni	2.50%	5%	7.50%
Pengukuran	PU (40PPI:60PPG)	0.036	0.054	0.04	0.061
	PU (50PPI:50PPG)	0.018	0.026	0.032	0.037

<b>Pengujian</b>	<b>PU (40PPI:60PP G)</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.08</b>	<b>0.11</b>
	<b>PU (50PPI:50PP G)</b>	<b>0.07</b>	<b>0.08</b>	<b>0.1</b>	<b>0.14</b>

	G		G+S		G+S+A		Massa S		Vol. S		Densitas		
	I (gram)	I (gram)	I (gram)	I (gram)	I (gram)	I (gram)	I (gram)	I (gram)	I (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>3</sup> )	I	II	Rata - Rata
PU 40: 60	128. 70	128 .67	12 8. 73	12 8. 73	17 7. 72	17 7. 74	0. 03	0. 06	0. 86	0. 84	0. 03	0.07	0.05
PU 40: 60 2.5 %K	128. 68	128 .68	12 8. 75	12 8. 75	17 7. 35	17 7. 35	0. 07	0. 07	1. 25	1. 25	0. 06	0.06	0.06
PU 40: 60 5% K	128. 73	128 .74	12 8. 80	12 8. 79	17 7. 84	17 7. 86	0. 07	0. 05	0. 81	0. 78	0. 09	0.06	0.08
PU 40: 60 7.5 %K	128. 78	128 .78	12 8. 86	12 8. 85	17 8. 00	17 7. 99	0. 08	0. 07	0. 71	0. 71	0. 11	0.10	0.11
PU 50: 50	128. 66	128 .66	12 8. 71	12 8. 74	17 7. 67	17 7. 67	0. 05	0. 08	0. 89	0. 92	0. 06	0.09	0.07
PU 50: 50 2.5 %K	128. 66	128 .66	12 8. 72	12 8. 72	17 7. 77	17 7. 78	0. 06	0. 06	0. 80	0. 79	0. 08	0.08	0.08
PU 50: 50	128. 60	128 .61	12 8. 68	12 8. 69	17 7. 69	17 7. 70	0. 08	0. 08	0. 84	0. 84	0. 10	0.10	0.10



5% K													
PU 50: 50 7.5 %K	128. 60	128 .60	12 8. 72	12 8. 72	17 7. 70	17 7. 78	0. 12	0. 12	0. 87	0. 79	0. 14	0.15	0.14